

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА
ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи

Лукьянов Лев Евгеньевич

**Геоэкологическая оценка светового загрязнения в природном заказнике
«Воробьевы горы» (г. Москва)**

1.6.21 – Геоэкология (географические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор географических наук, доцент
Красовская Татьяна Михайловна

Москва – 2025

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. Световое загрязнение как геоэкологическая проблема	9
1.1. Сущность светового загрязнения.....	9
1.2. Физическая сущность света.....	14
1.3. Влияние светового воздействия на геосистемы	18
1.4. Пространственный анализ светового загрязнения: глобальный, региональный и локальный уровни	24
Глава 2. Обзор методических подходов к изучению светового загрязнения.....	30
2.1. Методика изучения влияния светового загрязнения на биоту и человека	30
2.2. Методика изучения светового загрязнения в ООПТ	33
2.3. Методика изучения влияния светового загрязнения на экосистемные функции городских ООПТ	44
Глава 3. Световое загрязнение природного заказника «Воробьевы горы»	49
3.1. Световое загрязнение ООПТ Москвы	49
3.2. Комплексная геоэкологическая характеристика природного заказника «Воробьевы горы»	55
3.3. Характеристика искусственного освещения в природном заказнике «Воробьевы горы»	72
3.4. Особенности инструментальных измерений светового загрязнения в природном заказнике «Воробьевы горы»	78
Глава 4. Влияние светового загрязнения на экосистемные функции природного заказника «Воробьевы горы».....	83
4.1. Влияние светового загрязнения на приоритетные экосистемные функции природного заказника «Воробьевы горы»	83
4.2. Влияние светового загрязнения на изменение сезонной и суточной ритмики ландшафтов заказника.....	97
4.3. Влияние светового загрязнения на эстетику ландшафтов заказника	108
4.3.1. Оценка эстетики пейзажей заказника	109
4.3.2. Изучение восприятия светового загрязнения посетителями заказника	115

Глава 5. Пути решения проблемы светового загрязнения в природном заказнике «Воробьевы горы».....	119
5.1. Институциональные методы регулирования светового загрязнения.....	119
5.2. Экономические методы регулирования светового загрязнения	124
5.3. Возможные технические приемы снижения уровня светового загрязнения.....	127
5.4. Пути сохранения природоохранного статуса заказника в условиях светового загрязнения, сопряженного с рекреацией.....	130
5.5. Создание атласной информационной системы для выработки управленческих решений по оптимизации природопользования территории	137
Заключение	142
Список литературы	145
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	169
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	173
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	177

Введение

На протяжении всей истории развитие человеческого общества сопровождалось воздействием на окружающую среду. В последние два столетия, в связи с быстрым ростом численности населения и потребления природных ресурсов, освоением новых территорий, стимулируемых техническим прогрессом, антропогенное воздействие на природу непрерывно возрастает. С конца XX в. развивается экологический кризис, выражающийся в истощении природных ресурсов, интенсивном загрязнении геосфер Земли, ослаблении способности экосистем к восстановлению, а также в значительном ухудшении условий жизни и здоровья населения [GEO-6, 2019]. Кризисные явления носят как глобальный (закисление вод Мирового океана, снижение биоразнообразия, водный дефицит и др.), так и локальный характер. Локальный связан с природно-техногенными системами: городскими, сельскохозяйственными, энергетическими, промышленными предприятиями и т.п. [Голубев, 1999]. Увеличение площадей локальных экологических кризисов ставит под угрозу возможность биосферного регулирования антропогенных потоков вещества и энергии.

Влияние на эти потоки загрязнения окружающей среды в различных его проявлениях (химическое, физическое, механическое, биологическое, информационное) становится практически повсеместным, приводя к их существенным изменениям [Мельник, 2001; Котляков, 2007; Глазовский, 2009; Касимов, 2012 и др.]. Поступление нового вещества и энергии в природную среду трансформирует вещественно-энергетические потоки и приводит к негативным последствиям для биоты и человека, утрате способности геосистем к самоочищению [Горшков, 1998].

Загрязнение окружающей среды постепенно формировало глобальную геоэкологическую проблему со времен промышленной революции XVIII в., развития мирового рынка и нарастающих процессов урбанизации. Начало использования электричества и осветительных приборов в разрастающихся городах закономерно привело к появлению сначала освещения улиц, производственных и транспортных предприятий, а затем и архитектурно-художественного, чрезвычайно популярного в настоящее время. С ростом освещенности территорий постепенно начало проявляться их световое загрязнение, причем не только в городах, но и в сельской местности [Сундукова, Ильина, 2015; Cinzano et al., 2001; Cox et al., 2022]. Мощные световые потоки от городских источников искусственного освещения проникают и на территории зеленой инфраструктуры городов. Воздействие светового загрязнения на природные системы усугубляется, когда освещение вопреки экологическому законодательству устанавливается непосредственно на территории ООПТ. Именно это наблюдается на территории природного заказника «Воробьевы горы» в г. Москве.

Целью исследования является оценка уровня светового загрязнения и механизма его влияния на геосистемы городских ООПТ на примере модельной территории – природного заказника «Воробьевы горы». В соответствии с поставленной целью были сформулированы следующие **задачи исследования**:

1. Дать оценку пространственного распространения светового загрязнения в природном заказнике «Воробьевы горы» на фоне его нарастающего уровня в г. Москве.
2. Определить количество дополнительной световой и тепловой энергии, поступающей в геосистемы природного заказника «Воробьевы горы» от источников искусственного освещения.
3. Выявить на территории природного заказника «Воробьевы горы» перспективные участки для формирования сети микрорезерватов как ядер заповедания с целью сохранения его природоохранных функций в условиях высокой рекреационной нагрузки, с которой сопряжено световое загрязнение.

Объектом исследования являются геосистемы природного заказника «Воробьевы горы» в условиях светового загрязнения. **Предмет исследования**: антропогенное изменение потоков энергии как механизм влияния светового загрязнения на функционирование геосистем природного заказника «Воробьевы горы».

Материалы и методы исследования. Исследование строится на результатах полевых ландшафтно-экологических наблюдений, включающих геоботанические, фенологические, оценку антропогенной нагрузки и др., а также инструментальных измерениях мощности и спектра искусственного светового потока, расчетах его энергетического содержания. Тематические публикации использованы для изучения особенностей воздействия световых волн различных спектров и пульсации освещения, а также для оценки влияния избыточного освещения на живые организмы. Данные дистанционного зондирования привлекались для анализа пространственного распространения светового загрязнения на разных масштабных уровнях. Использовались муниципальные данные о современном состоянии хозяйственного использования изучаемой территории, а также результаты собственных социологических исследований, направленных на восприятие проблемы светового загрязнения посетителями природного заказника.

Методами исследования стали сравнительно-описательный, ландшафтно-экологический, геофизический, картографический, социологический, эколого-экономический и культурологический.

Концептуальная модель исследования представлена на рис. 1.

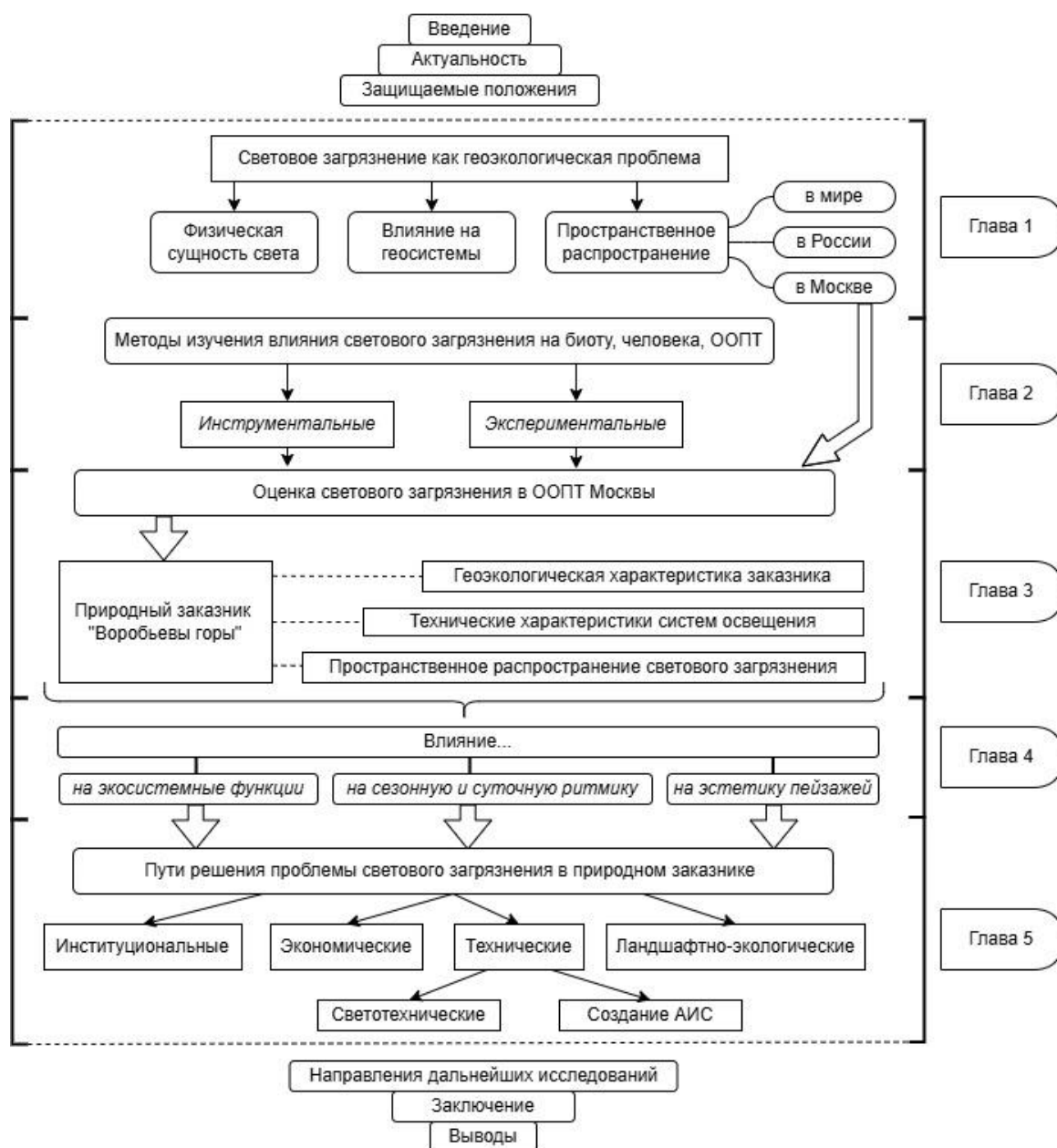


Рис. 1. Концептуальная модель диссертационного исследования

Положения, выносимые на защиту:

1. Природный заказник «Воробьевы горы» испытывает высокий уровень светового загрязнения, проявляющегося на всей территории Москвы в последние 10 лет.
2. Ландшафтное освещение в природном заказнике «Воробьевы горы» является источником дополнительной световой и тепловой энергии, поступающей в геосистемы, что может влиять на их сезонную и суточную ритмику, а также приоритетные экосистемные функции.
3. Создание микрорезерватов как ядер заповедания в природном заказнике «Воробьевы горы» позволит сохранить его природоохранные функции на фоне развития в нем рекреации – основного источника светового загрязнения.

Научная новизна и практическая значимость работы. Работа является первым комплексным геоэкологическим исследованием проблемы светового загрязнения, направленным на выявление механизма его влияния на геосистемы на основе количественных геофизических показателей. Впервые получены количественные значения добавленной световой энергии, проникающей в геосистемы и потенциально приводящей к их изменениям, установлено отношение рекреантов к ландшафтному освещению заказника, предложены пути сохранения его природоохранного статуса в условиях высокой рекреационной нагрузки, дана первичная эколого-экономическая оценка ряда возможных изменений экосистемных функций территории, связанных со световым загрязнением. Предложена структура атласной информационной системы (АИС) как базы для принятия управленческих решений по минимизации светового воздействия на природную среду ООПТ.

Результаты исследования частично внедрены в работу Эколого-просветительского центра «Воробьевы горы» и могут быть использованы при подготовке рекомендаций по оптимальному освещению городских природных территорий, при принятии управленческих решений по функциональному зонированию ООПТ, испытывающих световое загрязнение, с целью сохранения их природоохранного статуса, а также в учебном процессе при чтении курсов «Введение в геоэкологию», «Методы ландшафтных геоэкологических исследований», «Ландшафтная видеоэкология» и др., при подготовке географов, экологов, урбанистов, светотехников и т.д.

Личный вклад. Автор разработал алгоритм комплексного геоэкологического анализа эффекта физического загрязнения – светового – для городских ООПТ. Им актуализирована рукописная ландшафтная карта заказника [Виноградова, 2007], положенная в основу площадных исследований, выполнены инструментальные измерения освещенности, выявлены изменения ряда экосистемных функций под воздействием светового загрязнения, установлены попадающие в зону светового загрязнения наиболее эстетически ценные ландшафты заказника, изучено восприятие ландшафтного освещения рекреантами, предложены пути сохранения природоохранного статуса территории в условиях высокой рекреационной нагрузки, а также структура атласной информационной системы (АИС) для разработки управленческих механизмов рационального использования территории, часть из которых была обоснована для внедрения в заказнике.

Апробация работы и публикации. По теме диссертации опубликовано 13 статей, из которых 6 статей входят в перечень рецензируемых научных изданий в базах данных Scopus, Web of Science, RSCI и из дополнительного списка рецензируемых научных изданий из перечня, рекомендованного Минобрнауки России. Для модельной территории диссертационного

исследования – природного заказника «Воробьевы горы» – выявлены потенциальные местообитания отдельных видов птиц, подверженные световому загрязнению в статье [Лукьянов, Красовская, 2022] с вкладом автора 60%. В статье [Лукьянов, Маркова, 2023a] для той же территории выявлены объекты природного и культурного наследия, попадающие в зону засветки, а также разработана структура атласной информационной системы (АИС) для целей управления территории (вклад автора 60%). Анализ пространственного распространения светового загрязнения в заказнике представлен в [Лукьянов, Маркова, 2023b] с вкладом автора 80%, а общий обзор видов визуального загрязнения изложен в [Лукьянов, Красовская, 2024] (вклад автора 50%). В статье [Красовская и др., 2024] (с вкладом автора 50%) для заказника разработана сеть микрорезерватов, направленных на минимизацию антропогенного воздействия, включающую и снижение интенсивности светового загрязнения. Оценка воздействия светового загрязнения на растительный покров на Воробьевых горах представлена в [Лукьянов и др., 2024] (вклад автора – 50%). Результаты исследования были представлены автором в 2023–2025 гг. на 9 конференциях, в числе которых два доклада на международных конференциях: «Экология речных бассейнов», 2023; «I Белорусский географический конгресс», 2024.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы, включающего 354 источника (из них 208 на английском языке), и трех приложений.

Благодарности. Автор выражает глубочайшую признательность научному руководителю – профессору, д.г.н. Красовской Т.М. за идею постановки исследования, всестороннюю помощь и поддержку на всех этапах его осуществления; профессору Географического факультета МГУ, д.г.н. Тикунову В.С. за помощь в математической обработке данных; с.н.с. Географического факультета МГУ, к.г.н. Чижовой В.П. и эколого-просветительскому центру «Воробьевы горы» за предоставленные картографические материалы; с.н.с. Географического факультета МГУ, к.г.н. Семенкову И.Н. за консультации по изменениям почвенного покрова; инженеру Географического факультета МГУ Третьяченко Д.А. за консультации по методам дистанционного зондирования; доценту Физического факультета МГУ, к.ф.-м.н. Туркину А.Н., аспиранту Московского энергетического института Новикову Е.А., а также выпускнику магистратуры Физического факультета МГУ Яникову У.М. за высказанные замечания при проведении энергетических расчетов; доценту Географического факультета МГУ Медведкову А.А. за критические замечания и ценные методические советы, доцентам того же факультета, к.г.н. Емельяновой Л.Г. и к.г.н. Сусловой Е.Г. за помощь в проведении полевых геоботанических исследований.

Глава 1. Световое загрязнение как геоэкологическая проблема

1.1. Сущность светового загрязнения

Термин «световое загрязнение» требует пояснения определения, принятого в настоящей работе. Любое дополнительное освещение, генерируемое человеком, можно считать загрязнением, т.к. все живое на планете приспособлено к жизни в естественных условиях освещенности. Однако называть искусственное освещение загрязнением по умолчанию нельзя. Его проявление является отличительной чертой современного общества и обусловлено необходимостью искусственного освещения для его экономического и социального благополучия. В связи с этим, световое загрязнение могло бы быть охарактеризовано как «чрезмерное искусственное ночное освещение, оказывающее негативное влияние на биоту и человека». Однако и такое определение нельзя назвать объективным, т.к. фатальное превышение уровня освещенности для одного вида может быть относительно комфортным для другого вида. То же справедливо и для людей: комфортный уровень освещенности для одного человека покажется недостаточным или чрезмерным для другого. Поэтому возникает необходимость формулировки определения с точки зрения приемлемости искусственного освещения для различных видов жизнедеятельности человека и развития биоты, что, однако, является предметом отдельного исследования. В настоящей работе дополним определение светового загрязнения, представленное ГОСТ так¹: *вид физического загрязнения окружающей среды, выраженного в виде периодического или продолжительного превышения уровня естественной освещенности определенной территории в темное время суток, при котором избыточные световые потоки проникают за необходимые пределы освещенности.*

В астрономии под световым загрязнением подразумевается явление «засвечивания» ночного звездного неба искусственными источниками освещения – это «астрономическое световое загрязнение» [Толковый астрономический словарь, 2021; Longcore, Rich, 2016]. В нашей же работе мы обращаемся к изучению влияния светового загрязнения на природные ландшафты, т.е. рассматриваем экологический аспект светового загрязнения. Астрономический аспект будет затронут лишь в контексте изучения пространственного распространения светового загрязнения на глобальном и региональном уровнях.

Астрономический аспект светового загрязнения. Световое загрязнение – один из немногих видов загрязнения, который напрямую виден из космоса (рис. 1.1.1). Это глобальное

¹ ГОСТ 30772-2001. Межгосударственный стандарт. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения : дата введения 2001-12-28 / Технический комитет по стандартизации. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2001. – 18 с.

явление, которое сильно варьируется в пространстве и коррелирует с экономической активностью, плотностью населения и видами хозяйственной деятельности.



Рис. 1.1.1. Фрагмент космического снимка ночной Земли. Источник:
<https://earthobservatory.nasa.gov>

Астрономическое световое загрязнение возникает, когда световые потоки попадают в небо ввиду неэффективной конструкции систем освещения и рассеиваются в нижних слоях атмосферы. В результате образуется куполообразное оранжевое или белое сияние – *световой смог* или так называемые *световые купола*, достигающие высоты 60 км. Световой смог может усиливаться при повышенном содержании в воздушной среде пыли и аэрозолей – излучаемый свет дополнительно преломляется, отражается и рассеивается, что способствует распространению света далеко за пределы мест, откуда он излучается (рис. 1.1.2.) [Пустовая, Давыдова, 2017]. Засвечивание неба может быть вызвано светом и от естественных источников (отраженный лунный свет, естественное свечение атмосферы, звездный свет, пламя лесных пожаров и др.), однако главным источником светового загрязнения небосвода остается все же искусственное освещение [Колесников, Барышников, 2015].

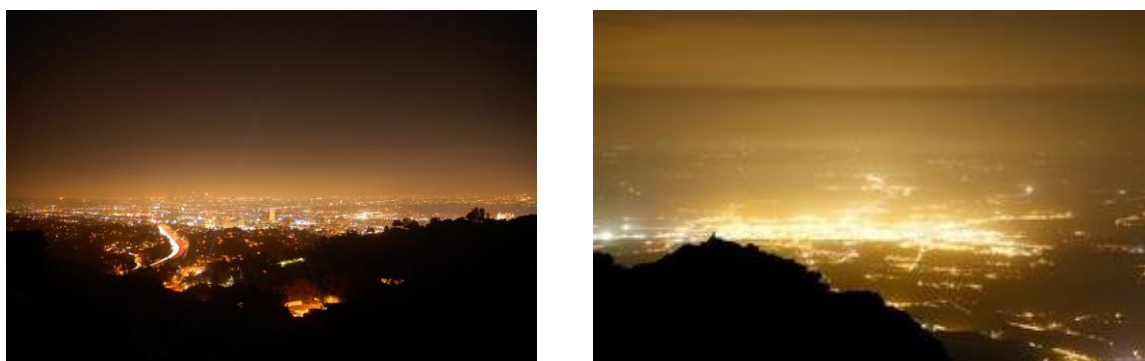


Рис. 1.1.2. Световой смог над Лос-Анджелесом: слева – при ясном небе, справа – во время смога. Источник: Mike Knell/Flickr, Getty Images

Засвечивание неба ухудшает видимость звезд на небосводе и является серьезным препятствием для астрономических наблюдений. Так, в крупных городах в условиях засвеченного неба можно наблюдать лишь Луну, некоторые планеты (Венера, Марс, Юпитер) и самые яркие звезды, в то время как объекты дальнего космоса (туманности, галактики, звездные скопления) становятся практически не наблюдаемыми [Назаров и др., 2018]. По этой причине астрономические обсерватории, когда-то построенные в пределах городской черты или близ нее, потеряли в настоящее время свои функции научных астрономических наблюдений [Falchi et al., 2023].

Засвечивание неба делает невозможным созерцание звездного ночного небосвода для подавляющей части человечества, что приводит к искажению исторической памяти (опыт навигации по звездам, мифологические сюжеты и т.п.), основанной на базовом человеческом опыте жизни в природном окружении, который ранее был доступен всем поколениям человеческой цивилизации. Созерцание Млечного пути в ночном небе, ранее вдохновлявшее поэтов и художников и напоминавшее о необъятности Вселенной, в настоящее время возможно лишь на большом удалении от урбанизированных территорий, что ограничивает удовлетворение эстетических и познавательных потребностей человека.

Для восполнения этих потребностей появилось новое направление туристической деятельности – астрономический туризм, когда люди готовы преодолевать большие расстояния и платить за возможность созерцать звездное ночное небо [Бугрий, 2011; Шмырев, 2019]. Однако развитие этого вида туризма испытывает трудности ввиду ежегодного разрастания площади световых куполов. Туристы вынуждены либо тратить большие деньги для того, чтобы добраться до не загрязненных засветкой районов вдалеке от городов, либо вовсе отказываться от таких поездок [Su, 2022].

Социально-экономический аспект светового загрязнения. Помимо нарушения эстетических и познавательных функций геосистем, световое загрязнение несет неблагоприятные последствия и для экономики. Наиболее очевидное – избыточные затраты на электроэнергию, затрачиваемую на освещение. По оценкам Международной ассоциации ночного неба, в США тратится впустую 22 тыс. ГВт·ч в год (на сумму 2,2 млрд долл.), для выработки которых расходуется 730 млн баррелей нефти и выбрасывается в атмосферу 15 млн тонн парниковых газов [IDA, 2020]. В Японии ежегодно затраты на избыточное освещение превышают 130 млн долл. [Boslett et al., 2021]. Косвенное влияние на экономику связано со многими другими факторами. Так, хроническое недосыпание из-за избыточных световых потоков в ночное время приводит к ухудшению когнитивных способностей человека, что сказывается на его здоровье и производительности на рынке труда. Финансовые издержки,

связанные с этим, в 2016–2017 гг. в пяти странах (США, Великобритания, Германия, Япония, Канада) были оценены в 680 млрд долл. [Hafner et al., 2017].

Световое загрязнение приводит и к сокращению биоразнообразия [Brei et al., 2016], что будет подробнее рассмотрено в разделе 1.3. Исследований, посвященных экономической оценке потерь биоразнообразия в настоящее время, крайне мало, однако очевидно, что эти потери очень высоки и будут расти дальше. К примеру, световое загрязнение может искажать поведение насекомых-опылителей, что приведет к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Недавнее исследование показало, что ежегодные потери стоимости экосистемных услуг из-за светового загрязнения оцениваются в 3,4 трлн долларов США, что составляет примерно 3% от общей глобальной стоимости экосистемных услуг и 3% от мирового ВВП [Anderson et al., 2024].

Краткий обзор исследований в области светового загрязнения. Несмотря на глобальное распространение светового загрязнения, его изучению уделяется гораздо меньшее внимание, чем другим видам загрязнения, хотя в последние годы этот пробел в исследованиях восполняется. Изучение различных направлений научных исследований светового загрязнения, отраженных в публикациях, появившихся в конце XX в. и стремительно увеличивающихся в своем количестве в XXI в., позволяет выделить их основные аспекты.

Термин «light pollution» впервые появился в астрономических реферативных изданиях еще в 1940-х гг., когда световое загрязнение рассматривалось исключительно как помеха для астрономических наблюдений [Hartmann, 1941; Contributions from..., 1946; Arizona Revised..., 1956]. Однако с 1970-х гг. наблюдается рост встречаемости термина уже в экологической литературе, преимущественно в отчетах по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) при дорожном строительстве, в которых освещение и свет фар признается «раздражителем» для горожан, предлагаются меры по экранированию фонарей и отказу от чрезмерного освещения проезжей части [US-25 Widening..., 1977; US-54 Upgrade..., 1981; Yosemite National ..., 1980; Brown, 1991].

В 2000-х гг. появляются первые работы по исследованию влияния светового загрязнения на живые организмы [Stephan, 1999; Brainard et al., 2001; Le Corre et al., 2002, Jones, Francis, 2003; Rich, Longcore, 2006; и др.], в которых выявляется негативное воздействие избыточного освещения на физиологию и поведение насекомых, птиц, растений и человека. Другие исследования содержат анализ пространственного распространения светового загрязнения в городах и странах мира, а также на отдельных территориях (например, ООПТ) [Cinzano et al., 2001; Falchi et al., 2016; Czarnecka et al., 2021; и др.]. Изучение светового загрязнения происходит и опосредованно. Так, изучение ночной освещенности Земли из космоса помогает в

инвентаризации населенных пунктов [Elvidge et al., 1997], изучении экономического развития [Doll et al., 2006], распределения «территорий бедности» [Noor et al., 2008], процессов урбанизации [Bruederle, Hodler, 2018], стихийных бедствий [Kohiyama et al., 2004; Akiyama, 2012], миграционных потоков [Chen, 2020], плотности населения [Sutton et al., 1997] и т.д. В исследованиях используются различные методы изучения светового загрязнения (дистанционное зондирование, лабораторный эксперимент, медицинские обследования и др.), рассматриваются разные пространственно-временные уровни (экспериментальные участки, городские или сельские районы, регионы, страны).

Световое загрязнение вызывает нарушения экосистемных функций геосистем. В настоящее время имеются исследования, посвященные анализу его возможного влияния на живые организмы, среди которых наибольшего внимания удостоилось изучение влияния на орнитофауну и земноводных, а также изучение нарушений циркадных ритмов живых организмов. Однако недостаточно исследован более широкий спектр его неблагоприятных последствий: нарушение природно-обусловленных ритмов функционирования геосистем, нарушение суточных состояний элементарных ПТК, влияющих на геосистемы более высокого ранга, изменение химических параметров атмосферы в результате изменений фотолиза ряда атмосферных поллютантов, в частности NO_3 , O_3 в ночное время и т.д. [Беручашвили, 1986; Бобылев, Захаров, 2009; Синеговская, Лёвина, 2020; Лукьянов, Красовская, 2021; Stark et al., 2010].

За последние два десятилетия количество иностранных исследований, посвященных световому загрязнению, сильно выросло. За 2003–2019 гг. число публикаций превысило 600, а количество статей, в которых термин «light pollution» хотя бы упоминается, за этот период выросло экспоненциально (от 150–200 до 8000) [Rodrigo-Comino et al., 2021]. Наибольшее количество исследований проводится в развитых странах: США, Германия, Нидерланды, Австралия, Испания. Растет число публикаций из Китая, стран Юго-Восточной Азии и Ближнего Востока. В странах, расположенных в высоких широтах (Россия, Канада, страны Скандинавии), количество исследований на тему светового загрязнения невелико, что может быть объяснено меньшим количеством солнечных дней и необходимостью в большем освещении.

В отечественной научной литературе тема светового загрязнения рассматривается слабо, в учебных пособиях по экологии и геоэкологии термин «световое загрязнение» почти не упоминается. В 2023 г. научная электронная библиотека Elibrary по запросу «световое загрязнение» предлагала около 80 научных работ, из которых больше половины носят обзорный или научно-популярный характер. Наиболее серьезными исследованиями отечественных ученых можно назвать работы коллектива биологов из Иркутского государственного университета по

исследованию влияния светового загрязнения на жизнедеятельность гидробионтов озера Байкал [Зилов Е.А., Бирицкая С.А., Ермолаева Я.К. и др., 2020–2023 гг.], работы коллектива авторов из Петрозаводского государственного университета и НИИ онкологии имени Н.Н. Петрова по изучению влияния избыточного освещения на заболеваемость и смертность [Анисимов В.Н., Виноградова И.А. и др., 2003–2012 гг.]. Также можно выделить работы, посвященные изучению светового загрязнения на орнитофауну Москвы [Макарова, Корнеев, 2019; Макарова, Остапенко, 2021; Лукьянов, Красовская, 2022] и картографированию светового загрязнения на отдельных территориях России [Бузмакова, 2016; Мовчан, 2020; Скрипчинская, Романенко, 2021; Лукьянов, 2023].

Несмотря на рост числа публикаций, посвященных влиянию светового загрязнения на жизнедеятельность тех или иных живых организмов, особенностям пространственного распространения, мерам борьбы со световым загрязнением и т.д., практически отсутствуют работы по комплексной геоэкологической оценке светового загрязнения на особо охраняемых природных территориях. Имеющиеся на эту тему исследования используют лишь методы дистанционного зондирования, но не ставят своей целью выявление комплексного влияния искусственного освещения на состояние геосистем [Cho et al., 2014; Kolláth et al., 2021 и др.]. Данный пробел мы восполняем в настоящем исследовании.

1.2. Физическая сущность света

Определение влияния светового загрязнения на биоту и геосистемы невозможно без понимания физической сущности света и его значения для геосистем.

Свет (или *видимое излучение*) – это электромагнитное излучение в интервале частот, воспринимаемых человеческим глазом. Свет излучается источником в виде электромагнитных волн, распространяющихся со скоростью около 300 тыс. км/с. Длины волн видимого излучения заключены в интервале от 380 до 770 нм, причем преобладание в спектральном составе света длин волн определенного диапазона будет восприниматься глазом как доминирование в нем определенного цвета (рис. 1.2.1) [БСЭ, 1976]. Природе света свойственен дуализм: наличие как волновых, так и корпускулярных свойств, т.е. свойств потока квантов света (фотонов).

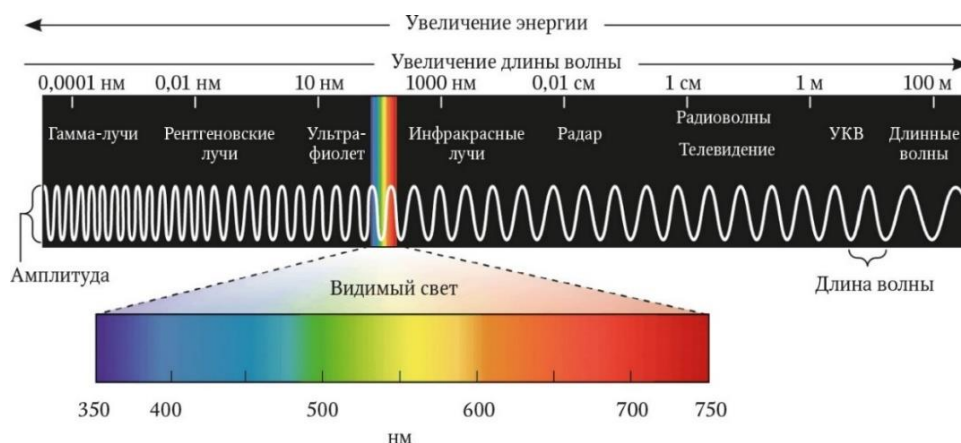


Рис. 1.2.1. Видимое излучение электромагнитного спектра. Источник: <https://m-focus.ru>

Свет, как и любая электромагнитная волна, несет энергию, которая частично поглощается объектом, в результате чего происходит его нагревание. При этом солнечный свет и свет от источников искусственного освещения может быть сравним с точки зрения интенсивности светового потока², однако энергетический эффект несоизмерим ввиду разницы мощности этих источников освещения и их спектральных диапазонов. Спектральный диапазон солнечной энергии необычайно широк (рис. 1.2.2). Мощный поток этой лучистой энергии, поступая на поверхность Земли, обеспечивает широтную дифференциацию распределения тепла на земной поверхности, циркуляцию вод и атмосферы, испарение, фотосинтез и другие процессы [Рябчиков, 1972]. Спектр излучения источников искусственного освещения различается в зависимости от типа лампы, однако их диапазон, по сравнению с солнечным, гораздо более ограниченный – бытовые лампы практически не несут высокоэнергетического ультрафиолетового излучения (табл. 1.2.1) [Katabaro et al., 2022].

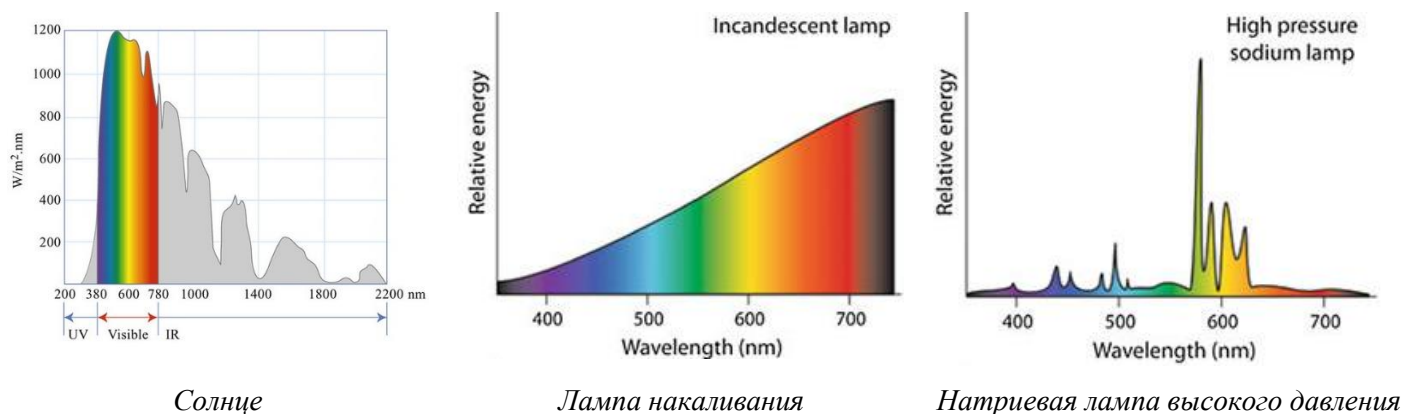


Рис. 1.2.2. Спектры излучения Солнца и некоторых видов источников искусственного освещения. Цветом показан диапазон видимого излучения. Источник: MIT OpenCourseWare, 2010; Dutta Gupta, Agarwal, 2017

² Освещенность в 100 тыс. лк, фиксируемая в солнечный день, может быть воспроизведена в лабораторных условиях.

Табл. 1.2.1. Шкала электромагнитных волн

Излучение		Диапазон длин волн, нм	Диапазон частот, ТГц	Диапазон энергии фотонов, эВ ³
Ультрафиолетовое		100 – 380	789 – 2460	3,26 – 10,2
Видимое	Фиолетовый	380 – 450	667 – 789	2,75 – 3,26
	Синий	450 – 480	625 – 667	2,58 – 2,75
	Голубой	480 – 510	588 – 625	2,43 – 2,58
	Зеленый	510 – 560	536 – 588	2,20 – 2,43
	Желтый	560 – 590	508 – 536	2,10 – 2,20
	Оранжевый	590 – 630	476 – 508	1,97 – 2,10
	Красный	630 – 780	384 – 476	1,59 – 1,97
Инфракрасное		780 – 1400	320 – 384	0,9 – 1,7
Чем меньше длина волны, тем выше частота и тем больше энергии несет фотон света.				

Источник: Ландсберг, 2009

Источники искусственного освещения испускают также и тепловое излучение, которое условно можно разделить на два типа. Первый тип тепла – аналогичный солнечному – возникает, когда электромагнитная волна (или фотоны света), встречая на своем пути препятствие, передает ему свою энергию и тем самым нагревает его. Однако интенсивность подобного нагрева объектов от бытовых источников искусственного освещения настолько мала, что ей можно пренебречь. Второй тип тепла будет возникать в результате нагрева тела накала источника освещения. Так, к примеру, большая часть мощности, подаваемой в лампу накаливания, будет нагревать нить накаливания, что в свою очередь нагреет пространство внутри колбы лампы, а затем и пространство вокруг нее.

Помимо эффекта передачи энергии фотона электрону вещества, важным доказательством квантовой природы света является фотохимический эффект, выражающийся в виде химических реакций под воздействием фотонов [Ландсберг, 2009]. Наиболее важным фотохимическим процессом является фотосинтез. Его физический смысл заключается в окислительно-восстановительном процессе, в ходе которого электроны от воды переходят к пиридиннуклеотидам⁴, в которых электроны находятся на более высоком энергетическом уровне. Перенос электронов происходит против термодинамического потенциала, что требует

³ Электронвольт (эВ) – единица энергии, используемая в ядерной физике. 1 эВ равен $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж – энергия, необходимая для переноса элементарного заряда между точками с разницей потенциалов в 1 В.

⁴ Фермент задействуется в окислительно-восстановительных реакциях, перенося электроны из одной реакции в другую. Присутствует во всех живых клетках.

1,2 эВ энергии, т.е. именно такое количество энергии необходимо для запуска фотосинтетического процесса [Физиология растений..., 2005]. Несмотря на то, что фотоны всех длин волн видимого излучения несут такое количество энергии и даже гораздо большее (см. табл. 1.2.1), русский физиолог растений К.А. Тимирязев еще в XIX в., исследуя процесс расщепления CO_2 под воздействием света, выявил, что фотосинтез происходит наиболее активно только под воздействием красных и синих лучей видимого спектра, интенсивно поглощаемых хлорофиллом, что связано с коэффициентами поглощения этих лучей пигментами хлоропластов [Тимирязев, 1937]. Лучи зеленого света растением отражаются – поэтому мы видим растения зелеными.

При изучении распространения световых потоков и их воздействия на компоненты геосистем свет необходимо рассматривать не только с точки зрения энергетической мощности, но и с точки зрения визуального восприятия. К примеру, исходя из табл. 1.2.1, в видимом диапазоне наиболее энергетически мощными будут лучи фиолетового света, однако в реальности оранжевый или красный свет будет восприниматься человеческим глазом гораздо более ярким, чем фиолетовый [Ландсберг, 2009]. И инструментальные измерения уровня освещенности с помощью прибора люксметра также покажут максимальные значения уровня освещенности именно в желтом или в зеленом свете. Это связано с различной чувствительностью фотометрического датчика, коим является и датчик люксметра, и человеческий глаз. И пик чувствительности у датчиков разных люксметров может приходиться на разные диапазоны волн, что может давать небольшую погрешность при замерах разными приборами на одной точке. Поэтому, когда в условиях разноцветного освещения измерения света того или иного цвета будут фиксироваться минимальным количеством уровня освещенности (в люксах), необходимо избегать наделяния его статусом «наименее опасного» для биоты, поскольку он может обладать гораздо более мощным энергетическим потоком, чем может показаться на первый взгляд.

Важное значение имеет и *пульсация* света – колебания во времени светового потока, падающего на единицу поверхности. Коэффициент пульсации для источников света, питающихся от сети переменного тока, определяется по формуле: $K_{\text{п}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{E_{\text{max}} + E_{\text{min}}} * 100\%$, где E_{max} и E_{min} – максимальное и минимальное значение освещенности за период ее колебания, в лк.

В контексте разницы визуального восприятия света и его энергетической мощности стоит упомянуть о трех фотометрических единицах, двумя из которых мы будем пользоваться в настоящем исследовании – люменами и люксами.

В люменах измеряется *световой поток* – количество света, излучаемое источником во всех направлениях за единицу времени. Использование специальных коэффициентов позволяет производить перевод люменов в ватты, характеризующие энергетическую сторону освещения.

Тем не менее при оценке светового воздействия нельзя анализировать лишь технические характеристики осветительных систем, выявляя потоки энергии от освещения, т.к. реципиентами света являются различные живые организмы, по-разному воспринимающие его органами зрения, и интенсивность этого визуально воспринимаемого света зависит от величины светового потока и расстояния до источника освещения. Поэтому необходимо изучение и показателя *освещенности* – отношения светового потока к площади поверхности, на которую он падает. Единицей измерения освещенности является люкс.

Таким образом, несмотря на явные различия своей физической природы, искусственное освещение, как и естественное, представляет собой поток фотонов, несущих энергию. Все земные геосистемы формировались и эволюционировали в условиях естественной освещенности, обуславливающей приток энергии в ландшафты. Поэтому приток дополнительной энергии от искусственных источников освещения является весомым фактором их трансформации. Рассмотрим особенности влияния на них естественного и искусственного освещения.

1.3. Влияние светового воздействия на геосистемы

Световое воздействие на геосистемы пока изучено недостаточно. Исследования в большинстве своем посвящены влиянию света на физиологические особенности биоты и человека.

Влияние света на растения. Свет играет важнейшую роль в жизни растений. Часть солнечного света в диапазоне 400–700 нм (ФАР) стимулирует в клетках зеленых растений и цианобактерий развитие фотосинтеза. На интенсивность фотосинтеза влияет спектральный состав света. Наиболее важными для растения являются красные и сине-фиолетовые лучи (рис. 1.2.1), световая энергия которых активно стимулирует рост растений, т.к. максимум поглощения фотосинтетических пигментов наблюдается именно в этих областях спектра. В синем свете синтезируются аминокислоты и органические кислоты, регулируется активность ферментов фотосинтетического превращения углерода, в красном – происходит образование углеводов и крахмала [Нурминский, Захаров, 2018]. Желтый и оранжевый свет обладают меньшей эффективностью, а зеленые лучи, свет с длиной волны более 700 нм, как и отсутствие света, вызывают остановку фотосинтеза.

Длина светового дня также играет немаловажную роль в жизни растений, обуславливая физиологический ответ растений – фотопериодизм. Циркадные процессы в растениях запускаются из-за различного содержания квантов энергии в солнечных лучах. При малых углах наклона солнечных лучей (раннее утро или поздний вечер) их спектральный диапазон

обогащается красными и дальними красными квантами, в результате чего фитохромная система активизируется, и растение начинает «просыпаться» или «отходить ко сну» [Кузнецов, 2006; Шибаева и др., 2017]. Длинной светового дня регулируются фенофазы развития растений: начало цветения и листопад, формирование органов вегетативного размножения и т.д.

Влияние света на животных и человека. Световое излучение является важным экологическим фактором среды ввиду регулирования температуры тела и необходимости ориентации в пространстве, т.к. именно солнечные лучи способствовали появлению у них органов зрения [Дементьев, 2006; Кузнецов, 2021]. Одни виды используют солнечную энергию для поддержания высокой температуры тела, другие, наоборот, предпочитают затемненные условия, чтобы избежать перегрева.

Для подавляющего большинства живых организмов фактор освещенности напрямую связан с циркадными ритмами, которые свойственны и человеку. Они проявляются прежде всего в работе эндокринной и нервной систем, обеспечивая регуляцию поведения и внутренней работы организма в соответствии с ежедневными изменениями внешней среды. Эти изменения позволяют задавать ритмичность таким процессам, как регуляция температуры тела, пищевое поведение, работа иммунной и эндокринной систем, а также циклам «сон – бодрствование» [Бежавский и др., 2022]. Большую роль в регуляции циркадных ритмов играет гормон мелатонин, синтез и секреция которого начинается с наступлением темноты, а с ростом освещенности подавляется. Мелатонин также обладает антиоксидантным, противовоспалительным и нейропротекторным действием, что наделяет его антиканцерогенным эффектом [Habtemariam et al., 2017; Hu et al., 2017].

Влияние света на ландшафты. Ландшафт представляет собой открытую пространственно-временную систему, ритмичность природных процессов которой связана с астрономическими, геологическими и др. ритмами и охватывает все масштабные уровни – от планетарных ритмов до суточных региональных и локальных. В динамике ландшафта важное значение имеют циклические процессы, к которым относятся суточные и годовые ритмы развития, продуцируемые циклическим поступлением солнечной энергии. Вследствие этого на протяжении 24-х часов в ландшафте меняются микроклиматические характеристики, циркадные ритмы биоты, интенсивность геоморфологических и внутрипочвенных процессов и т.д. [Беручашвили, 1986; Солнцев, 2001]. Для проявления изменений в ландшафте в процессе сезонной ритмики необходим относительно протяженный период, в течение которого под влиянием солнечного света происходят выраженные колебания изменения климатических, биогеохимических и др. характеристик, сменяются фенофазы растительного покрова (бутонизация, распускание листьев,

вегетация, листопад, покой), интенсивности процессов разложения органического вещества в почвах, сезонное изменение орнитофауны и т.д. [Лукьянов и др., 2024].

Искусственное освещение в ландшафте в ночное время может рассматриваться как геофизический (энергетический) фактор антропогенной динамики ландшафта, т.к. оно сопряжено с поступлением энергии фотонов и тепловой энергии от осветительных приборов. В настоящее время наиболее полно изучено влияние светового загрязнения на животных, однако сопряженные изменения в других компонентах ландшафтов в целом практически не изучены. Наиболее четко они транслируются через растительный и почвенный покров, преобразующий энергетические потоки в ландшафтах [Škvareninová et al., 2017].

Особенности влияния избыточного освещения на живые организмы. У растений на избыточно освещенных территориях сбиваются суточные и сезонные биоритмы, что связано с резкой активацией работы фоторецепторов растений – фитохромов и криптохромов. Под воздействием избыточного освещения происходит всплеск вегетативного роста, в естественных условиях обычно происходящий при резком повышении температуры. Однако при достижении определенного лимита роста производство вегетативных органов останавливается [Škvareninová et al., 2017]. Листовые устьица – в норме днем закрытые для снижения транспирации, ночью открытые – в условиях светового загрязнения остаются закрытыми и по ночам. Подобные изменения в физиологии растений снижают жизнестойкость растений, ухудшая их способность противостоять стрессам (засухам, заморозкам).

Искусственное освещение в ночное время приводит к повышению жесткости листьев⁵ и снижению их привлекательности для поедания насекомыми [Cao et al., 2024]. Более того, более жесткие листья, как правило, медленнее разлагаются, что потенциально может сказаться на замедлении биогеохимического круговорота. Однако наиболее очевидным эффектом светового загрязнения на растения является смещение фенологических процессов: распускания листьев весной, задержка листопада осенью. Такой эффект светового загрязнения в последние годы был установлен в полевых и лабораторных условиях в Великобритании, Китае, США, Чехии для платана кленолистного (*Platanus×hispanica*), липы сердцевидной (*Tilia cordata*), клена белого (*Acer pseudoplatanus*), бука европейского (*Fagus sylvatica*), дуба обыкновенного (*Quercus robur*), ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior*) [Hollan, 2004; Bennie et al., 2016; Škvareninová et al., 2017; Zheng et al., 2021; Czaja, Kołton, 2022; Meng et al., 2022; Wang et al., 2022]. Зафиксировано более раннее (на 2 недели) распускание листьев и задержка листопада на 2–3 недели. Выявленные изменения позволяют растениям дольше вегетировать, что обеспечивает более долгое

⁵ В листьях понижалось количество питательных веществ, при этом увеличивалась вязкость цитоплазмы.

накопление фитомассы, депонирование углерода и очищение приземной атмосферы от поллютантов [Wortman, Lovell, 2013]. В то же время изменения в вегетационном периоде могут снизить зимостойкость растений и даже привести к росту аллергических заболеваний человека из-за продолжительности периода повышенного содержания пыльцы в воздухе⁶. Ночное освещение уменьшает количество видов, предпочитающих затененные участки, а также количество растений, опыляемых ночными насекомыми [Giavi et al., 2021].

Влияние искусственного освещения на насекомых имеет большое значение для функционирования геосистем, т.к. насекомые служат кормовой базой для более крупных животных, опыляют цветковые растения, участвуют в переработке биомассы. В избыточно освещаемых районах видовое разнообразие насекомых и их численность сильно снижается [Hallmann et al., 2017]. Около трети насекомых, привлекаемых ярким искусственным освещением, погибает: они перестают реагировать на окружающую обстановку, что делает их уязвимыми перед хищниками, гибнут, сталкиваясь с осветительными приборами и т.д. [Eisenbeis et al., 2009]. Световое загрязнение осветляет звездное небо, являющееся навигационной координатной сеткой для многих насекомых [Рязанова, 2019]. Искусственное освещение вызывает также изменения в пищевом и половом поведении насекомых: откладывается питание в ожидании наступления темноты, нарушается коммуникация, снижается выработка феромонов у самок и т.д. [Dreisig, 1980; Geffen et al., 2015; Firebaugh, Haynes, 2016].

У птиц искусственное освещение в ночное время вызывает множественные нарушения в поведении и физиологии. На освещенных территориях сбиваются сезонные биоритмы, нарушается гнездовое поведение, наблюдается ночная активность и сверххранное пение по утрам, что в свою очередь становится причиной более ранних спариваний и сказывается на жизнеспособности популяции [Horton et al., 2019]. Сбои сезонных биоритмов приводят к набору веса и росту половых желез задолго до начала кладки яиц, а также к изменениям в репродуктивном и родительском поведении (увеличение частоты кормления птенцов, кладка яиц в холодный период года). Известно о дезориентации птиц при освещении желтым, оранжевым и красным светом, что влечет к увеличению времени, проводимого в полете, и, как следствие, к гибели от изнеможения [Wiltchko, Wiltchko, 1999; Wiltchko et al., 2010]. Растет риск столкновения птиц с высокими освещенными зданиями и мачтами, т.к. ослепленные дезориентированные птицы перестают воспринимать препятствия на пути. Происходит нарушение навигации перелетных птиц [Gauthreaux, 1982].

⁶ Раннее цветение растений в 2020 г. привело к 17-процентному росту числа госпитализаций из-за астмы в штате Мэриленд, США [Sapkota et al., 2020].

Для земноводных, пресмыкающихся и ночных млекопитающих искусственное освещение может быть как положительным, так и отрицательным фактором среды. С одной стороны, около источников освещения всегда формируется большая кормовая база, с другой стороны, некоторые виды животных, которые могут спариваться только в темноте, перестают это делать на освещенных территориях [Бармасов и др., 2014]. Выявлены и изменения в поведении головастиков в условиях освещенности [Beiswenger, 1977; Jamieson, Roberts, 2000]. У животных снижается репродуктивная функция, нарушаются природные инстинкты в добывании пищи и ориентации в пространстве, растет уязвимость перед хищниками и браконьерами [Сундукова, Ильина, 2015].

Табл. 1.3.1. Примеры значений освещенности, при которых у разных видов животных наблюдаются физиологические изменения.

Группы позвоночных	Вид животного	Уровень освещенности	Эффект
Насекомые	Дрозофила фруктовая <i>Drosophila melanogaster</i>	0,03 лк	Смещение пиков активности на ночное время
Птицы	Галстучник <i>Charadrius hiaticula</i>	0,74 лк	Увеличение потребления пищи
	Странствующий дрозд <i>Turdus migratorius</i>	1,26 лк	Более раннее начало пения
	Черноголовая овсянка <i>Emberiza melanocephala</i>	10 лк	Начало роста половых желез и набор веса
Рыбы	Атлантический лосось <i>Salmo salar</i>	14 лк	Смещение сроков ночных миграций
Пресмыкающиеся	Зеленый гремучник <i>Crotalus viridis</i>	1 лк	Снижение активности
Млекопитающие	Сирийский хомячок <i>Mesocricetus auratus</i>	0,01 лк	Изменения в циркадном ритме
	Серая крыса <i>Rattus norvegicus</i>	0,2 лк	Увеличение частоты роста опухолей и метаболизма
	Листоухий хомячок <i>Phyllotis xanthopygus</i>	1,5 лк	Снижение ночной активности
	Джунгарский хомячок <i>Phodopus sungorus</i>	5 лк	Подавление иммунной реакции организма
	Малый подковонос <i>Rhinolophus pipposideros</i>	51,7 лк	Сниженная активность, смещение сроков начала миграций
	Степная полёвка <i>Microtus socialis</i>	450 лк	Нарушение терморегуляции
	Индийская мышь <i>Mus booduga</i>	1000 лк	Нарушения циркадных ритмов

Источник: Gaston et al., 2013.

Искусственное освещение оказывает негативное воздействие и на здоровье человека. В ночное время свет подавляет синтез мелатонина, что вызывает мутацию генов в гипоталамусе. Потеря их функции вызывает в организме метаболические нарушения, в результате чего растет предрасположенность к ожирению, сахарному диабету второго типа, гипертонии, хронической усталости. Гормональная дисрегуляция на системном уровне приводит к возникновению

сердечно-сосудистых заболеваний, желудочно-кишечных дисфункций, бесплодия, нарушению овариально-менструального цикла, повышенной восприимчивости к инфекциям, преждевременному старению репродуктивной системы. Негативное воздействие оказывается и на психологическое состояние человека, нарушаются память, социальная адаптация, эмоциональная реактивность, наблюдается депрессивное, маниакальное или рискованное поведение [Беляевский и др., 2022]. Одним из наиболее опасных последствий воздействия искусственного освещения в ночное время является повышение предрасположенности к онкогенезу. В конце 1980-х гг. было установлено ингибирующее действие световой депривации на канцерогенез молочной железы. Так, в США было установлено, что женщины, работающие в ночную смену, чаще заболевали раком молочной железы [Stevens, 1987]. В 2009 г. было обнаружена связь между уровнем ночного освещения и заболеваемостью раком предстательной железы [Kloog et al., 2008; Kloog et al., 2009].

Новейшие исследования иллюстрируют влияние светового загрязнения и на почвы. В 2021 г. в лабораторных опытах было установлено, что в ходе целенаправленного искусственного освещения дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы ртутными и ультрафиолетовыми лампами на протяжении 150 ч количество углерода лабильных органических веществ возрастает, а количество углерода гуминовых кислот снижается, таким образом, соотношение гуминовых кислот к фульвокислотам снижается с 0,75 до 0,1, что приближено к показателям тундровых почв [Глазовская, 1981; Национальный атлас..., 2011; Новосёлов, 2021]. Подобное соотношение изменяло реакцию почвенной среды – за 150 часов облучения pH изменилась с 6.34 до 6.16. Это подтверждается и известным феноменом ускорения процессов деструкции гумуса и повышения кислотности почвы при использовании в севообороте отвальной обработки почвы и чистого пара [Завьялова и др., 2004].

Экспериментально установлено, что при полугодовом освещении почв (в инкубационных условиях, pH 7.4) лампами, формирующими уровень освещенности до 30 лк, наблюдается снижение содержания почвенной влаги и интенсивности микробного дыхания почвы из-за снижения микробной активности, снижение численности денитрифицирующих, метилотрофных, серных бактерий, а также хемогетеротрофов, что может оказывать влияние на биогеохимические круговороты [Cesarz et al., 2023; Li et al., 2024].

Таким образом, в настоящее время уже доказано, что избыточное искусственное освещение оказывает негативное влияние на природную среду и человека. Тем не менее, площади территорий с избыточным освещением продолжают расти как на локальном, так и на региональном уровнях, приближаясь к глобальному распространению.

1.4. Пространственный анализ светового загрязнения: глобальный, региональный и локальный уровни

Как ранее упоминалось, световое загрязнение – единственный вид загрязнения, который непосредственно можно наблюдать из космоса. Уровень светового загрязнения прямо пропорционален пространственному распределению населения Земли и уровню его экономического благосостояния. Рассмотрим характер распространения светового загрязнения в мире на разных масштабных уровнях.

Световое загрязнение стран мира. Сильному световому загрязнению подвержены наиболее экономически развитые и населенные районы Земли. Более 80% населения мира и более 99% населения Европы и США проживает под осветленным ночным небом (рис. 1.4.1)⁷. Из-за светового загрязнения Млечный Путь не виден более чем для трети человечества. 23% поверхности суши между 75° с. ш. и 60° ю. ш., 88% территории Европы и почти половина площади США находятся в области «светлых» ночей [Falchi et al., 2016].

В Северной Америке световое загрязнение наблюдается во всей восточной части США. В Канаде оно, повторяя рисунок распределения населения, концентрируется вдоль южной границы страны, а также наблюдается в некоторых глубинных частях страны (в районах нефтедобычи). В Евразии наибольшему световому загрязнению подвержены практически вся Европа (Великобритания, страны Бенилюкса, Италия), южная и восточная части Азии, а также европейская часть России. Менее освещены страны Восточной Европы, азиатская часть России, страны Средней Азии и пустынные и горные районы Китая и Монголии и других стран. В Южной Америке наиболее освещенными территориями являются густонаселенное атлантическое побережье Бразилии и нефтедобывающие районы Венесуэлы. В Африке проблема светового загрязнения наблюдается на средиземноморском побережье и в Нигерии, где происходит добыча углеводородного сырья, сопровождаемое горением факелов попутного газа.

Среди отдельных стран мира максимальное световое загрязнение можно отметить в Сингапуре, Кувейте, Катаре, Сан-Марино, где 97–100% населения живет под ярким ночным небом [Falchi et al., 2016]. Наименее подвержено световому загрязнению население таких стран, как Чад, ЦАР и Мадагаскар, где более 75% населения живет в условиях отсутствия освещения небосвода. К странам и территориям с наибольшей площадью не загрязнённых светом территорий относятся Гренландия (загрязнено 0,12% площади), ЦАР (0,29%), Ниуэ (0,45%), Сомали (1,2%) [Falchi et al., 2016].

⁷ Максимальное значение яркости свечения неба в зените превышает 1,4 мкд/м², в то время как фоновое значение темного неба – менее 0,17 мкд/м².

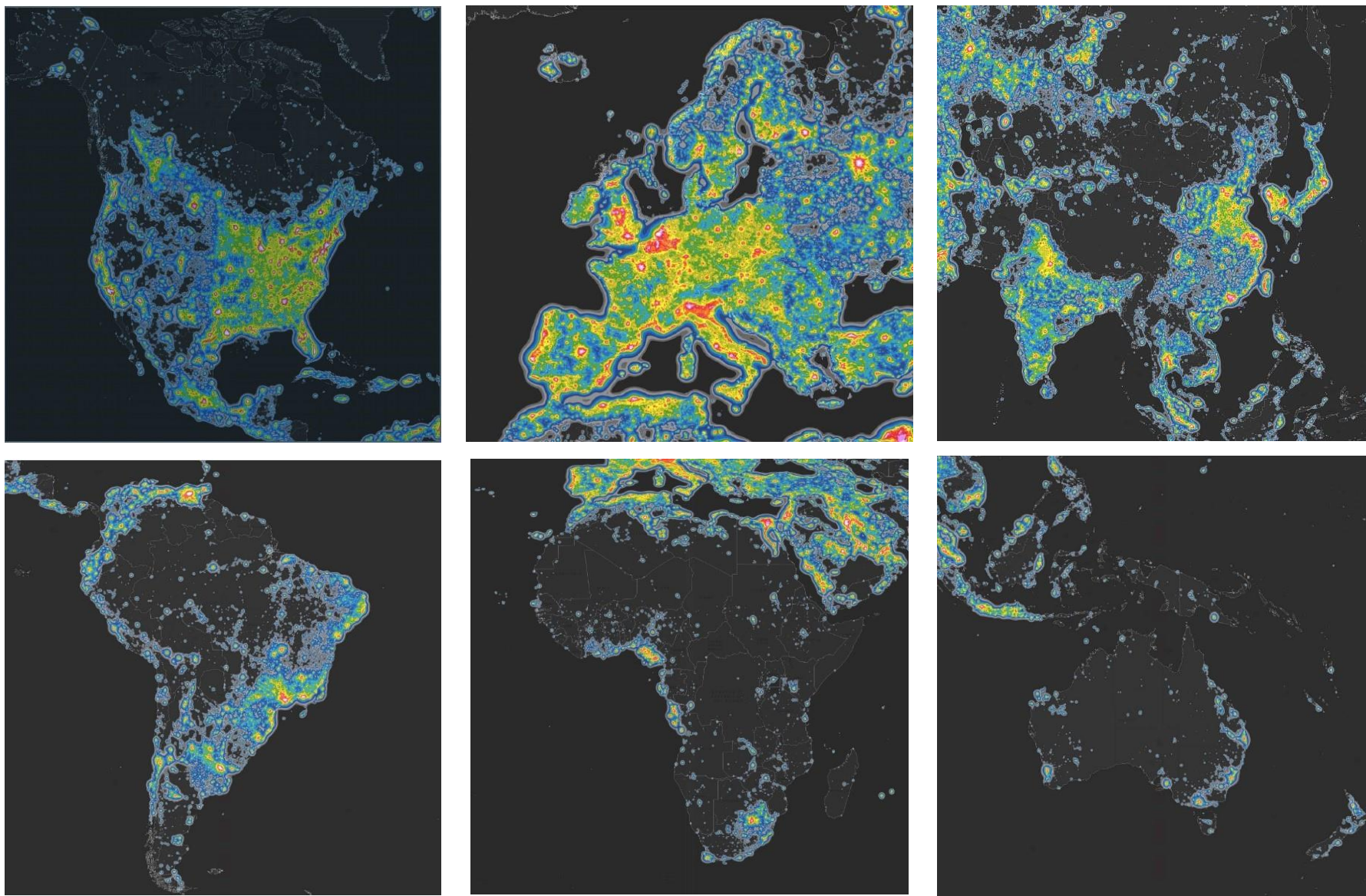


Рис. 1.4.1. Световое загрязнение мира. Источник: <https://www.lightpollutionmap.info/>



К рис. 1.4.1.

Световое загрязнение на поверхности Земли отображено с помощью астрономического показателя зенитной яркости неба. Измеряется в mag/arcsec² (величин на квадратную угловую секунду). Чем меньше значение показателя, тем выше значение яркости неба.

Источник: Falchi et al., 2016

В 2011–2022 гг. засвечивание ночного неба в мире усиливалось ежегодно примерно на 10%, что эквивалентно удвоению яркости небосвода каждые 8 лет [Kyba et al., 2023]. В США и странах Европы ежегодный прирост светового загрязнения составляет до 12% [Сундукова, Ильина, 2015]. Таким образом, световое загрязнение в той или иной степени наблюдается и растет на всех материках, кроме Антарктиды.

По оценкам Всемирного банка в 2023 г. только 57,3% населения мира проживает в городах, однако световое загрязнение нельзя называть экологической проблемой, свойственной только для городов – оно наблюдается и на неурбанизированных территориях [Колосов, Заяц, 2020]. Исследование 2022 г. показывает, что около 10% всех световых потоков в мире в ночное время излучается внегородскими источниками освещения [Cox et al., 2022]. Источниками таких световых потоков являются преимущественно объекты промышленного производства. Наиболее мощные источники света в Африке, Азии и Южной Америке, наблюдающиеся в районах с низкой и средней плотностью населения, приурочены к нефте- и газодобывающим и перерабатывающим производствам. По этой причине световое загрязнение наблюдается в Северном море, Персидском заливе, близ Фолклендских островов.

Световое загрязнение в городах мира и ООПТ. Города как центры сосредоточения экономической и социальной активности используют максимальные возможности освещения для создания благоприятной и безопасной среды для человека, развития производства и движения транспорта. Уровень светового загрязнения в городах стремительно растет, что подтверждается результатами научных исследований в разных городах мира: Милане, Белграде, Варшаве, Фукуоке, городах Индонезии и т.д. [Kyba et al., 2017; Jiang et al., 2017; Czarnecka et al., 2021; Gunawan et al., 2021; Panic et al., 2022].

Помимо городских территорий, световое загрязнение зачастую затрагивает территории с природоохранным статусом. Сильнее всего оно проявляется на ООПТ в непосредственной близости от крупных городов, т.к. городской свет проникает вглубь ООПТ. Источником повышенной освещенности является и феномен световых куполов над городами. Таким образом, световое загрязнение способно ухудшать качество природной среды вдоль границ ООПТ.

Почти половина из 49,3 тыс. средних и крупных ООПТ мира хотя бы частично затронута световым загрязнением [Mu et al., 2021]. Большая часть этих ООПТ расположена в странах Европы, США и Восточной Азии, что связано с относительной близостью этих ООПТ к населенным пунктам и вызывает их попадание под световые купола городов. Исследования последних лет выявили наличие светового загрязнения в заповедниках и национальных парках разных стран мира: США, Великобритании, Южной Кореи, Китая и др. [Gaston et al., 2015; Guetté et al., 2018; Barentine, 2019; Fan et al., 2019; Li et al., 2020; Sung, 2022; и др.]. Так, интенсивность светового загрязнения ООПТ Китая в период с 1992 по 2012 гг. возросла в 1,8 раза [Xiang, Tan, 2017]. Причем это прослеживается даже в относительно малонаселенных регионах страны: 34 из 46 заповедников на Тибетском нагорье испытывают световое загрязнение, а число видов растений и животных, находящихся под угрозой исчезновения на этих территориях, возросло за этот период с 89 до 228 [Wang et al., 2022]. В трех балканских странах – Черногории, Сербии и Болгарии – процент территорий ООПТ, затронутых световым загрязнением, составляет 47%, 60% и 19% от общей площади ООПТ этих стран соответственно [Peregrym et al., 2020].

Световое загрязнение затрагивает и охраняемые акватории. Так, 35% из 11,5 тыс. морских охраняемых районов (*Marine Protected Areas*), преимущественно расположенных в Северо-Западной Атлантике, Средиземном море, Мексиканском заливе, Карибском море и т.д., испытывают повышенную световую нагрузку в ночное время [Davies et al., 2016].

Световое загрязнение России. Пространственное распространение светового загрязнения в России в целом повторяет картину крайне неравномерного распределения населения по территории страны (рис. 1.4.2). Наиболее освещенной является европейская часть России, где сосредоточено 76% населения страны, причем некоторые северные ее районы, несмотря на слабую освоенность, освещаются соизмеримо с крупными городами. Так, освещенные участки можно обнаружить на территории республики Коми, Ненецкого автономного округа (месторождения Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции), Мурманской области (Мончегорск, Кировск, Оленегорск и др.). Тем не менее более 550 тыс. км² (около 15% площади ЕТР) являются неосвещенными: восточная часть Кольского полуострова, большая часть территории Карелии, Коми, Архангельской области, неосвоенные районы Кировской, Костромской и Вологодской областей, почти вся Калмыкия и горы Северного Кавказа.

Азиатская часть России в меньшей степени испытывает световое загрязнение. Несмотря на наличие крупных городов и освещенных участков в районах добычи полезных ископаемых в Сибири, большая часть территории остается неосвещенной.

Световое загрязнение, как правило, редко затрагивает крупные ООПТ страны, находящиеся на удалении от крупных городов и промышленных предприятий. В числе наиболее уязвимых с точки зрения светового воздействия можно отметить национальный парк «Лосиный остров» (г. Москва), «Красноярские Столбы» (г. Красноярск), Кандалакшский заповедник (г. Кандалакша), Раифский участок Волжско-Камского заповедника (г. Казань) и пр. Однако ООПТ более низких рангов (природные заказники, природные парки, памятники природы) зачастую располагаются близ крупных городов или даже внутри урбанизированных территорий, в которых являются элементами зеленой инфраструктуры. Такие ООПТ могут не только находиться под световым куполом города, но и напрямую подвергаться вторжению искусственных световых потоков. Самым крупным городом с наибольшим числом таких ООПТ является Москва.

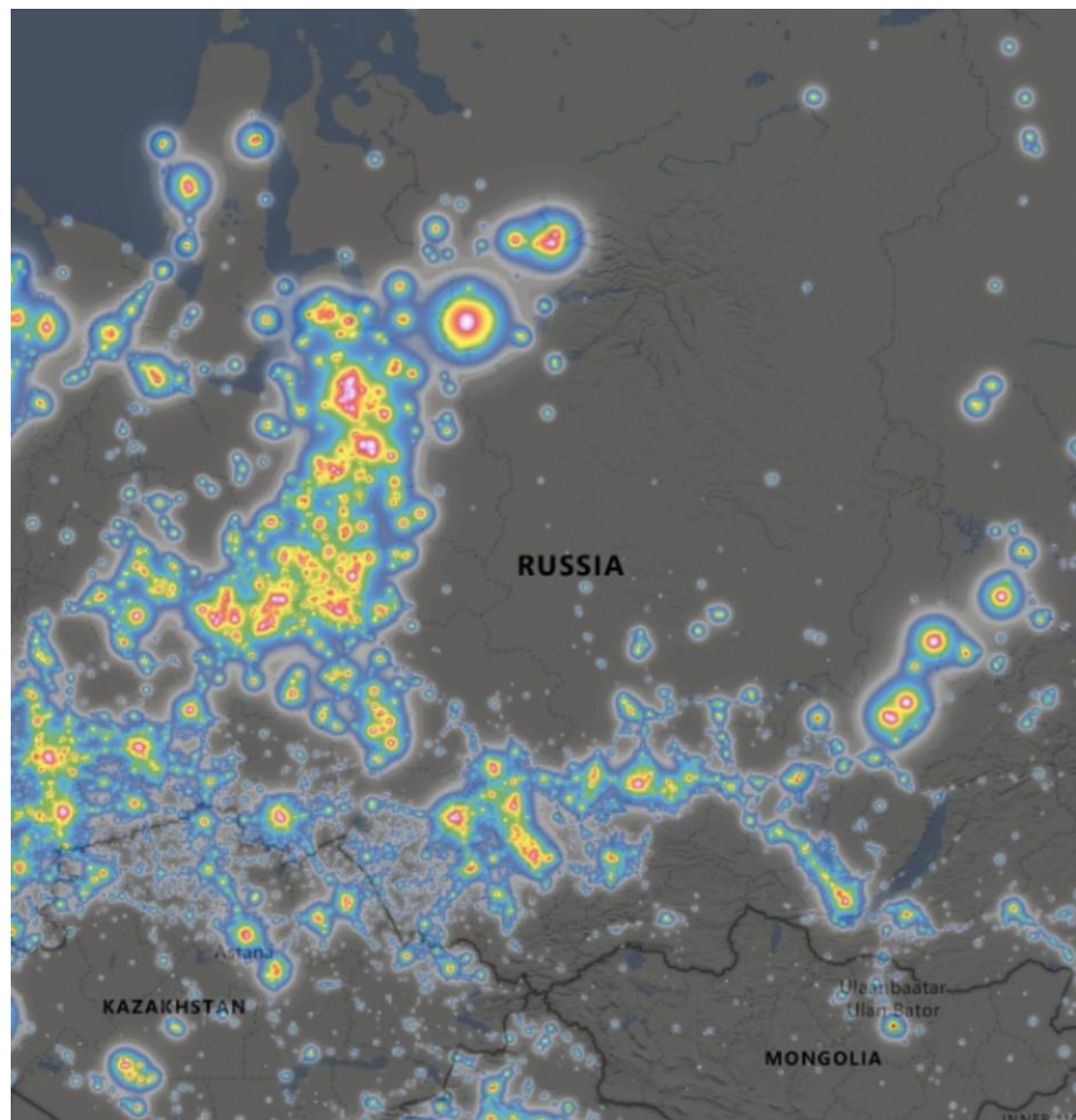
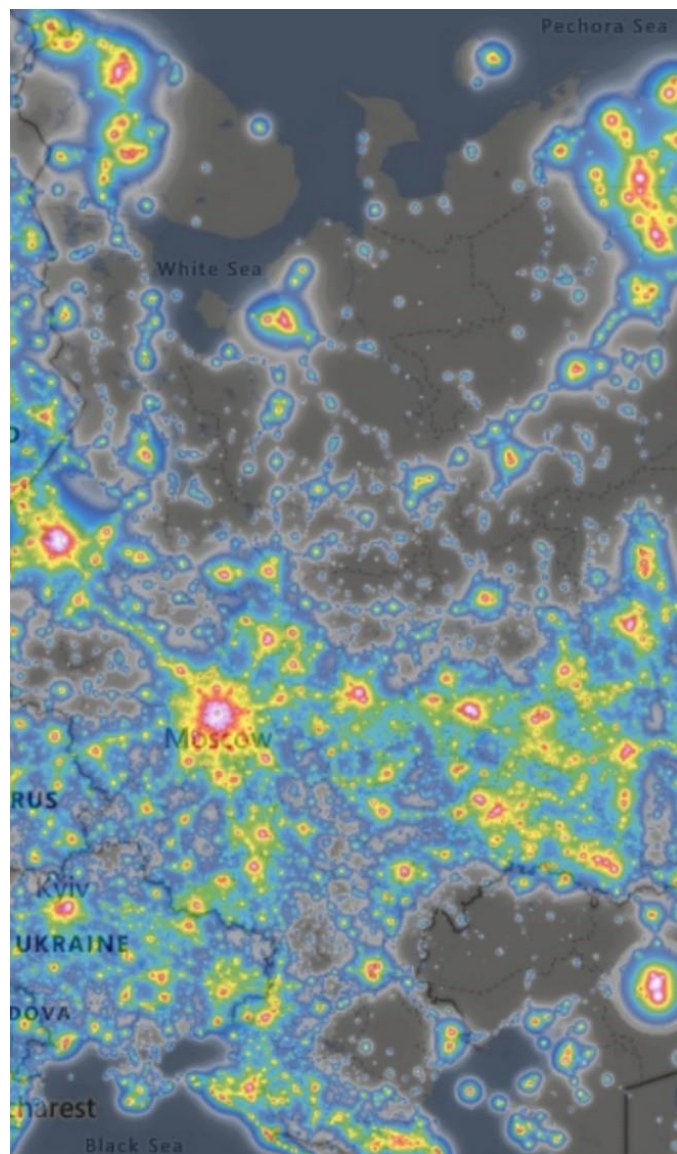


Рис. 1.4.2. Световое загрязнение территории России (см. легенду к рис. 1.4.1). Источник: Falchi et al., 2016

Глава 2. Обзор методических подходов к изучению светового загрязнения

Ввиду того, что проблема светового загрязнения изучается относительно недавно, стандартизированных подходов к оценке его влияния на природную среду и человека пока не разработано, а комплексные методики вообще отсутствуют. Однако на основе публикаций подобных исследований можно обозначить наиболее часто используемые подходы. Рассмотрим изученные примеры.

2.1. Методика изучения влияния светового загрязнения на биоту и человека

Основными методами изучения влияния светового загрязнения на живые организмы, используемыми в настоящее время, являются натурные наблюдения и эксперименты, причем последние преимущественно относятся к сельскохозяйственным культурам и растениям, выращиваемых в условиях закрытого грунта, но описаны и отдельные эксперименты с искусственным освещением разной интенсивности и для природных растительных сообществ (см. ниже). Опыты по влиянию освещения на ускорение роста тепличных сельскохозяйственных культур проводятся давно, а их результаты успешно внедрены в практику [Искусственное..., 2022; Каракайтис и др., 2023]. Изучение влияния избыточного света на растения направлено на выявление изменений их физиологических процессов: изменения в клетках, развитие растений, влияния на фенотипы. Рассмотрим эти эффекты.

Физиологические изменения в клетках изучаются в лабораторных условиях. Так, к примеру, в тепличных условиях при целенаправленном освещении на протяжении 18 ч. рассады томата обыкновенного (*Lycopersicon esculentum*), перца стручкового (*Capsicum annuum*) и др. выявляются изменения в клетках: снижение фотосинтетической способности, квантового выхода фотосинтеза⁸, окислительный стресс, повреждение ДНК и др. [Dorais, Gosselin, 2000]. В лабораторных условиях установлено и влияние искусственного освещения на развитие древесных растений при целенаправленном освещении 10 лк на протяжении 16 ч.: были выявлены виды, наиболее чувствительные к искусственно увеличенной продолжительности светового дня (береза белая *Betula pendula*, клен остролистный *Acer platanoides*, платан кленолистный *Platanus acerifolia*, вяз американский *Ulmus americana*, и др.), менее чувствительные (липа сердцевидная *Tilia cordata*, клен дланевидный *Acer palmatum* и др.) и нечувствительные (дуб черешчатый *Quercus robur*, липа обыкновенная *Tilia xeuropaea*, сосна черная *Pinus nigra*, бук европейский *Fagus sylvatica*, и др.) [Cathey, Campbell, 1975a, 1975b].

⁸ Отношение числа квантов энергии, стимулирующих фотохимические реакции фотосинтеза, к числу падающих на лист фотонов.

Изменения вегетационного периода растений вследствие смещения фенологических процессов исследуется методом дистанционного зондирования и путем фенологических наблюдений. Исследования, проведенные в США и Великобритании, основывались на использовании данных из Национальных баз фенологических наблюдений для 25 видов листопадных широколиственных пород по всей территории. Затем имеющиеся фенологические наблюдения сравнивались с значениями светового загрязнения на местности (по данным дистанционного зондирования) за 2011–2016 гг. [French-Constant et al., 2016; Meng et al., 2022; Wang et al., 2022]. В результате были выявлены фенологические сдвиги в фенофазах, упомянутые в разделе 1.3.

Заметим, что большая часть таких исследований носит региональный характер, в то время как локальных исследований, проводимых в полевых условиях методом наблюдений, крайне мало (упомянуты в разделе 1.3). В ходе этих исследований сравниваются даты начала распускания почек и начала листопада у освещаемых и неосвещаемых деревьев в разных метеорологических условиях [Hollan, 2004; Bennie et al., 2016; French-Constant et al., 2016; и др.].

Изучение влияния избыточного света на *насекомых* (преимущественно бражников, павлиноглазок, пядениц пестрых и пр.) проводится путем натуральных наблюдений [Frank, 1988]. Для изучения особенностей привлечения насекомых светом пользуются световыми ловушками [Bauer, 1993; Delisle et al., 1998; Scheibe, 1999; Garriss, Snyder, 2010; van Langevelde et al., 2011], для некоторых исследований бывает достаточно и обычных наблюдений или подсчета [Kureck, 1992; Tobias, 1996]. Изменения в физиологии насекомых изучаются лабораторными методами [Delisle et al., 1998; Geffen et al., 2015]. Так, ослепление мотыльков и бабочек светом исследуется путем определения миграции пигментов в клетках сетчатки глаза [Hamdorf, Höglund, 1981] и т.д.

Воздействие искусственного освещения на изменение маршрутов миграций перелетных *птиц* изучается с помощью данных дистанционного зондирования: маршруты накладываются на карты светового загрязнения [Horton et al., 2019]. Метод наблюдений используется для выявления изменений в пищевом поведении [Santos et al., 2010], ночной активности [Miller et al., 2006], привлечении птиц светом [Brewster, 1886; Clarke, 1912; Munro, 1924; Gauthreaux, Belser, 1999]. В лабораторных условиях изучается воздействие определенных частей спектра света на способность птиц ориентироваться [Wiltschko et al., 1993; Wiltschko, Wiltschko, 1999; Wiltschko, Wiltschko, 2002], влияние света на миграционное поведение [Beacham, 1982; Gauthreaux, 1982]. Метод инструментальных измерений (портативные радары, страбоскопы) используется для регистрации траекторий полета птиц близ освещенных конструкций [Larkin, Frase, 1988].

Изучение влияния света на *пресмыкающихся* в ночное время также требует натурных и экспериментальных методов исследования. Метод наблюдений используется для изучения пространственного распространения мест откладывания яиц черепахами и поведения их вылупившихся детенышей [Witherington, 1992; Salmon et al., 1995; Witherington, Martin, 1996; Salmon et al., 2000]. Изменения пищевого поведения и ночной активности варанов и гекконов изучались путем наблюдений [Werner, 1995; Cunningham, 2002; Savage, 2002]. В лабораторных условиях выявляются физиологические изменения и особенности поведения рептилий под воздействием искусственного освещения различной интенсивности [Firth et al., 1999; Bertolucci et al., 2000; Hyde, Underwood, 2000; Tiebout, Anderson, 2001].

Метод наблюдений используется при изучении влияния избыточного света и на *земноводных*. Изучались привлечение лягушек и жаб к источникам освещения [Baker, 1990; Schlaepfer et al., 2002], гибель их на освещенных автодорогах [Fahrig et al., 1995], изменения полового поведения [Rand et al., 1997; Táranó, 1998]. Физиологические изменения, связанные со сбоем работы щитовидной и половых желез и даже генетическими нарушениями, установлены в ходе экспериментов с тигровой лягушкой (*Hoplobatrachus tigerinus*) и гладкой шпорцевой лягушкой (*Xenopus laevis*) [Green, Besharse, 1996; Baggs, Green, 2003].

По сравнению с исследованиями птиц, насекомых или пресмыкающихся, лишь немногие исследования документируют влияние ночного освещения на *млекопитающих*. В ходе исследований на экспериментальных площадках выявлялось снижение активности грызунов [Vasquez, 1994; Kramer, Birney, 2001], нарушения пищевого поведения [Kotler, 1984; Bird et al., 2004]. Опытным путем выявлялись физиологические изменения, произошедшие вследствие подавления выработки мелатонина у белок-летяг, мышей и летучих мышей в условиях избыточного освещения [Joshi, Chandrashekar, 1985; DeCoursey, 1986; Dauchy et al., 1997; Sharma et al., 1997; Виноградова, 2007; Виноградова и др., 2008]. Привлечение млекопитающих (горностаи, хорьки, ласки, лисицы, ондатры, зайцы, косули, летучие мыши и др.) на свет исследовалось путем наблюдений [Blake et al., 1994; Rydell, Baagøe, 1996; De Molenaar et al., 2003], как и повышенный риск стать добычей хищников при питании на освещенных участках [Alkon, Saltz, 1988]. Хорошо известны и случаи гибели животных на освещенных автотрассах [Тишков и др., 2022; Clevenger et al., 2005].

Изучение влияния искусственного ночного освещения на *человека* исследуется преимущественно в лабораторных исследованиях: изменения гормонального фона и циркадных генов ДНК женщин, работающих в дневную и ночную смены [Bracci et al., 2014; Gómez-Acebo et al., 2015; Samulin et al., 2017], влияние этих изменений на канцерогенез и активизацию стрессовых реакций [Herman, Cullinan, 1997; Spenser, Deak, 2016], сбои в работе сердечно-

сосудистой системы [Mason et al., 2022] и в выработке мелатонина [Morita, Tokura, 1996; Wada et al., 2013]. Для изучения взаимосвязи пространственного распространения светового загрязнения и заболеваемости раком молочной железы на популяционном уровне используют статистический метаанализ [Данилова, Усольцева, 2019; Wang et al., 2013; He et al., 2015; Lawson et al., 2015]. Имеющиеся немногочисленные исследования, посвященные влиянию пульсации освещения на здоровье человека, показывают, что пульсация света с высокой частотой вызывает снижение зрительной работоспособности, переутомление глаз, головные боли, тревожность и даже учащенное сердцебиение, причем чем выше глубина пульсации, тем сильнее выражено негативное воздействие на организм [Wilkins et al., 1989; Veitch, Wilkins, 1990; Hazell, McColl, 1995, и др.].

Таким образом, методики, использующиеся при исследовании влияния избыточного света, в целом схожи для разных видов живых организмов – лабораторные опыты, медицинские обследования, наблюдения и эксперименты. При всей важности рассмотрения светового загрязнения на живые организмы пока отсутствуют данные об аналогичных исследованиях на всю геосистему, т.к. эта проблема комплексная, требующая многофакторного изучения для ее решения. И методы изучения светового загрязнения различаются в зависимости от направления науки, в рамках которой происходит исследование: биологические и медицинские исследования пользуются методами лабораторного анализа или эксперимента, географические исследования – преимущественно методами дистанционного зондирования, экономические исследования – методами расчета экономических затрат на избыточное освещение и т.д.

2.2. Методика изучения светового загрязнения в ООПТ

Несмотря на быстро увеличивающееся число исследований, до сих пор не выработано общей методики изучения светового загрязнения, которая включала бы как инструментальные измерения, так и оценку влияния на различные компоненты геосистем. Даже инструментальные измерения уровня освещенности или засвечивания неба проводятся с большим числом ограничений: на длины волн (не все длины волны в видимом спектре можно измерить), на пределы обнаружения источников освещения из космоса (аппаратура космических спутников может зафиксировать не все слабые источники освещения) и т.д. [Mayer-Pinto et al., 2021]. К тому же типы приборов по измерению светового загрязнения и области их применения различаются: люксметры, спектрометры, спектральные фотокамеры на искусственных спутниках Земли, измеряющие яркость источников освещения на земной поверхности, и измерители качества ночного неба (*SQM; Sky Quality Meter*).

Еще одним **важнейшим** ограничением, которое необходимо учитывать при работе со световым загрязнением, является отсутствие единых пороговых значений освещенности, ниже которых искусственное освещение не наносит вреда биоте и ландшафтному комплексу в целом. В научной литературе признается, что даже свет низкой интенсивности, соразмерной яркости световых куполов над городами, может негативно воздействовать на организмы [Mayer-Pinto et al., 2021]. Прекрасным примером этого может служить табл. 1.3.1 – у разных видов животных уровни освещенности, при которых начинаются физиологические изменения, могут различаться на порядки. Это обстоятельство приводит к недооценке влияния искусственного освещения на живые организмы и к ограниченным возможностям регулирования светового загрязнения ввиду невозможности установить единый предельно допустимый уровень освещенности для всех видов живых организмов. По этой же причине непродуктивной представляется любая попытка ранжирования абсолютных значений освещенности – понятия «малая», «средняя», «высокая» по отношению к степени светового загрязнения можно считать условными – малая степень светового загрязнения для человека может вызвать необратимые физиологические изменения у насекомых или головастиков. На основании этого мы можем дополнить определение термина «световое загрязнение» количественным признаком: **световым загрязнением является любое превышение фонового значения освещенности.**

В поисках пути по снижению светового загрязнения в городских ООПТ мы непременно сталкиваемся с противоречивым восприятием ночного освещения. В разделе 1.3 были наглядно показаны негативные аспекты влияния искусственного освещения на человека и геосистемы, явно указывающие на необходимость разработки мероприятий по снижению светового загрязнения. Но в то же время искусственное освещение является важным социальным фактором человеческой деятельности и играет значимую роль для обеспечения безопасности людей в ночное время. Поэтому «борьба» со световым загрязнением в виде целенаправленного затемнения городских ООПТ может вызвать непонимание в обществе, стать причиной роста уровня тревожности населения или даже социальной напряженности. Поэтому методика изучения светового загрязнения в ООПТ должна включать не только ландшафтно-экологические и картографические методы, но и социально-ориентированные: культурологические и социологические методы [Лукьянов, 2024].

В настоящем исследовании методика изучения светового загрязнения в ООПТ основана на геосистемном подходе, обеспечивающим возможности комплексных оценок. На основе полевых исследований и анализа тематических публикаций мы предлагаем следующие методы для изучения комплексного влияния светового загрязнения на городские ООПТ, использованные в настоящем исследовании: дистанционное зондирование, ландшафтное профилирование и

картографирование, ландшафтно-экологическое обследование: геоботаническое и зоогеографическое маршрутное обследование и оценка степени антропогенной нарушенности, инструментальные наземные измерения режима и спектров освещенности, историко-культурный анализ и социологические исследования, картографический и геофизический методы, математическое моделирование. Рассмотрим их подробнее.

1. *Дистанционный метод.* Как упоминалось ранее, световое загрязнение высокой интенсивности видно из космоса. Поэтому для анализа его пространственного распространения могут использоваться мелкомасштабные космические снимки. С их помощью можно изучать динамику роста световых куполов, распространение источников светового загрязнения и оптические характеристики атмосферы городов, влияющих на интенсивность загрязнения (облачность, полярное сияние и др.). С помощью данных дистанционного зондирования можно получать карты светового загрязнения и для тех территорий, где наземные измерения недоступны. Дистанционный метод, дополненный кадастровыми данными, дает возможность получить актуальные данные о землепользовании, т.к. на территориях городских ООПТ могут располагаться рекреационные объекты, являющиеся источниками светового загрязнения.

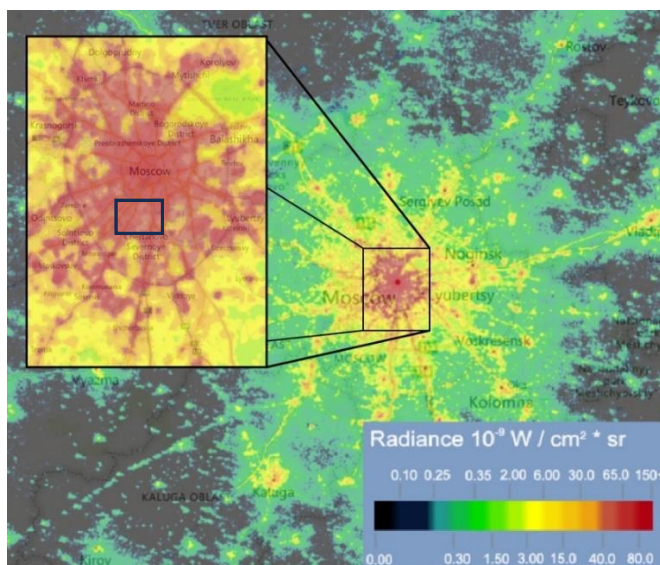
Источником данных при дистанционном зондировании является радиометр видимого дневного и ночного инфракрасного диапазона DNB VIIRS (Day/Night Band Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), установленный на спутнике Suomi NPP и управляемый NOAA [Elvidge et al., 2022]. Радиометрические измерения светового излучения предоставляются в виде показателя энергетической яркости поверхности Земли в единицах нановатт на см² на стерадиан⁹.

Тем не менее существуют определенные ограничения при использовании этого метода. Облачность увеличивает яркость неба над городами в 3–10 раз [Kyba et al., 2011], аналогичным образом действует снежный покров, отражательная способность которого достигает 80% [Рябчиков, 1972]. Еще одним природным фактором, искажающим реальный уровень искусственного освещения, является лунный свет. Так, космический снимок, сделанный во время полнолуния, оказывается настолько ярким, что на нем становятся различимы облака и рисунок ландшафта [Elvidge et al., 2017]. В высоких широтах во время полярных сияний фиксация искусственного излучения с поверхности Земли становится практически невозможной. Поэтому методом дистанционного зондирования при изучении светового загрязнения можно пользоваться с учетом этих ограничений. Однако данные дистанционного зондирования дали возможность создать в 2001 г. первый Атлас светового загрязнения [Cinzano et al., 2015], мелкомасштабные

⁹ Стерадиан – единица измерения телесных углов, т.е. частей пространства, ограниченных некоторой конической поверхностью.

снимки из которого были использованы в настоящем исследовании для анализа динамики роста общей освещенности Московской агломерации за последнее десятилетие.

Использование Атласа светового загрязнения хорошо подходит для выявления светового загрязнения на слабо освоенных территориях, на которых даже очень слабые источники освещения будут ярко выделяться на фоне темных пространств. Однако при изучении светового загрязнения в пределах крупных городов этот Атлас малоинформативен. Пространственное разрешение в 500 м^{10} позволяет выделять на территории городов лишь более или менее освещенные участки. Так, на рис. 2.2.1 на врезке г. Москвы можно различить территории национального парка «Лосиный остров», Измайловского и Битцевского парка, парка Кузьминки и некоторых прочих; более мелкие же по площади ООПТ (в числе которых и территория нашего исследования – природный заказник «Воробьевы горы») попадают в ту же цветовую категорию, что и центр города, спальные районы, транспортные магистрали. При сравнении такого изображения с космическим снимком города видны очевидные различия – на космическом снимке (рис. 2.2.2) неосвещенные участки явно выделяются на фоне освещенных, можно различить парки малого размера и отдельные скверы.



Прямоугольником показано месторасположение природного заказника «Воробьевы горы».

Рис. 2.2.1. Световое загрязнение центральной части
ЕТР. Источник: www.lightpollutionmap.info



Рис. 2.2.2. Снимок г. Москвы со спутника.
Источник: s.fishki.net

Таким образом, использование растра VIIRS в целях изучения светового загрязнения в городских ООПТ позволяет лишь констатировать факт попадания этих ООПТ под световой купол

¹⁰ Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS). EARTHDATA: Open Access for Open Science // URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/find-data/near-real-time/viirs> (Date of Access: 15.04.2024)

города, однако низкое пространственное разрешение не позволяет выделять на территориях этих ООПТ более или менее освещенные участки. Таким образом, невозможность работы с растровыми данными в крупном масштабе обуславливает необходимость проведения инструментальных измерений, учитывающих особенности ландшафтной структуры, рельефа, метеорологических характеристик и пр. факторов.

Тем не менее использование растровых данных из Атласа светового загрязнения позволяет выявить и количественно определить, насколько изменилась освещенность территории за исследуемый период. Так, с помощью геоинформационных технологий (инструмент Reclassify в программе ArcGIS) можно классифицировать растр и выделить несколько категорий освещенности (от ярко освещенных до темных) в соответствии с показателем энергетической яркости поверхности. Таким образом, можно определить, как изменилась освещенность на той или иной территории за последние годы. Результат подобных исследований представлен в разделе 3.1.

Важно понимать, что низкое пространственное разрешение ночных космических снимков – лишь временная проблема. В настоящее время разработаны и продолжают совершенствоваться новые спутниковые датчики, получают космические снимки ночной поверхности Земли в более высоком разрешении, использующиеся пока ограниченно и по состоянию на 2024 г. отсутствующие в открытом доступе.¹¹

2. *Инструментальные наземные измерения* светового загрязнения можно разделить на два направления. Первое – измерения яркости ночного неба с помощью прибора (*SQM; Sky Quality Meter*). На территории ООПТ такие измерения могут быть полезны для определения степени засвечивания ночного звездного неба, что влияет на миграции птиц. Однако такие измерения не имеют смысла для небольших ООПТ внутри урбанизированных территорий.

Вторым направлением являются измерения уровня освещенности на уровне земной поверхности прибором люксметром. Основным его недостатком является невозможность работы в условиях слабой освещенности, т.к. большинство современных люксметров производят измерения в диапазоне от 0,1 до 20 тыс. лк, в то время как уровень освещенности в ночное время в затемненных участках ООПТ может располагаться в диапазоне 0,0001–0,1 лк.

Измерения уровня освещенности люксметром возможны внутри ландшафтных контуров выбранного масштаба, либо по регулярной сети с шагом, определяемым ландшафтной структурой и характером землепользования территории. В случае использования регулярной сети

¹¹ Ночная съемка Земли с космических спутников: применение, достижения, проблемы и технологии [Электронный ресурс]. – URL: https://gisproxima.ru/nochnaya_semka (Дата обращения: 19.10.2024)

квадратов измерения производятся в центре каждого квадрата на средней высоте около 1,5 м, при этом светочувствительная поверхность фотометрического датчика люксметра ориентируется горизонтально. В таком случае измеряется горизонтальная освещенность. В случае измерения засвечивания окон в жилых домах поверхность фотометрического датчика размещается вертикально в проеме окна в сторону источников уличного освещения – измеряется вертикальная освещенность.

Важно обратить внимание на «антропоцентричность» существующих методов измерения горизонтальной или вертикальной освещенности. Все они предполагают измерения преимущественно в жилых помещениях и на территориях, используемых людьми, как и все нормируемые показатели освещенности, прописанные в СНиП и СанПиН (подробнее о них речь пойдет в разделе 4.1). Большинство источников искусственного освещения направлено вниз, поэтому измерения горизонтальной или вертикальной освещенности на высоте человеческого роста или в оконном проеме уместны. Однако в природных условиях световые потоки от фонарей и прожекторов могут быть направлены горизонтально или вверх, например, в кроны деревьев. В таком случае измерения на высоте человеческого роста под источниками освещения будут отображать неполную картину светового загрязнения ландшафта. Методы инструментальных измерений светового загрязнения в природных условиях требуют дополнительной разработки.

В настоящем исследовании инструментальные измерения светового загрязнения в природном заказнике «Воробьевы горы» проводились с помощью люксметра СЕМ DT-1301. Измерения освещенности от источников уличного освещения выполнялись на уровне человеческого роста, при этом измерялась горизонтальная освещенность. Измерения горизонтальной освещенности от источников ландшафтного освещения проводились аналогично, однако на участке, где была возможность провести измерение непосредственно над прожектором ландшафтного освещения, поверхность фотометрического датчика люксметра была повернута лицевой стороной к нему.

3. *Картографирование* светового загрязнения для мелко- и крупномасштабных исследований различается. В результате дистанционного зондирования земной поверхности в основу карт светового загрязнения преимущественно ложатся показатели зенитной яркости неба (измеряется в величинах на квадратную угловую секунду) или энергетической яркости поверхности (измеряется в нановаттах на см^2 на стерадиан). Такие карты отображают пространственное распространение светового загрязнения на Земле (см. рис. 1.4.1). Однако они малоинформативны при необходимости работы в крупном масштабе, т.к. пространственное разрешение космических снимков VIIRS, как было сказано ранее, составляет всего 500 м.

Примеров использования крупномасштабного картографирования светового загрязнения в научной литературе практически не встречается. Поэтому предложим методы такого картографирования с использованием трех способов картографического изображения: изолиний, ареалов и точечного способа.

Прежде всего необходим предварительный сбор данных инструментальных измерений на местности, для чего наиболее удобно пользоваться регулярной сетью квадратов. Помимо регулярной сети квадратов, можно проводить измерения внутри ландшафтных контуров, однако в таком случае необходимо учитывать их размерность, особенности рельефа и прочие факторы (например, особенности рельефа и расположение строений на территории могут препятствовать распространению световых потоков).

Затем с использованием геоинформационных технологий (к примеру, методом обратно взвешенных расстояний) может быть построена *карта изолиний (изолукс)*. Однако способ изолукс будет правильно отражать распространение света только на равнинных поверхностях, лишенных древесного покрова, где световые потоки распространяются свободно, не встречая препятствий. Любое крупное дерево с раскидистой кроной или холм будут препятствовать проникновению световых потоков. Поэтому для корректного картографирования светового загрязнения на местности с холмистым рельефом необходимо использование как минимум цифровой, а как максимум – триангуляционной модели рельефа с лесным массивом, которая учитывала бы все препятствия на пути распространения световых потоков.

Пример использования способа изолиний при картографировании светового загрязнения показан на рис. 2.2.3 для участка природного заказника «Воробьевы горы». Карта создана в геоинформационных системах с помощью метода обратно взвешенных расстояний. При этом отображение светового загрязнения нельзя назвать полностью корректным. Обратим внимание на показанный на врезке участок площадью 0,74 га, в действительности ограниченный освещенными тропами, но внутри полностью затемненный. На карте этот участок отображается как в целом освещенный, за исключением нескольких отдельных точек. Эти точки на карте, выглядящие как своего рода «черные дыры» – не что иное, как точки, в которых проводились инструментальные измерения. GIS-программа методом интерполяции «осветлила» все окружающее их пространство на участке, которое в действительности затемнено.

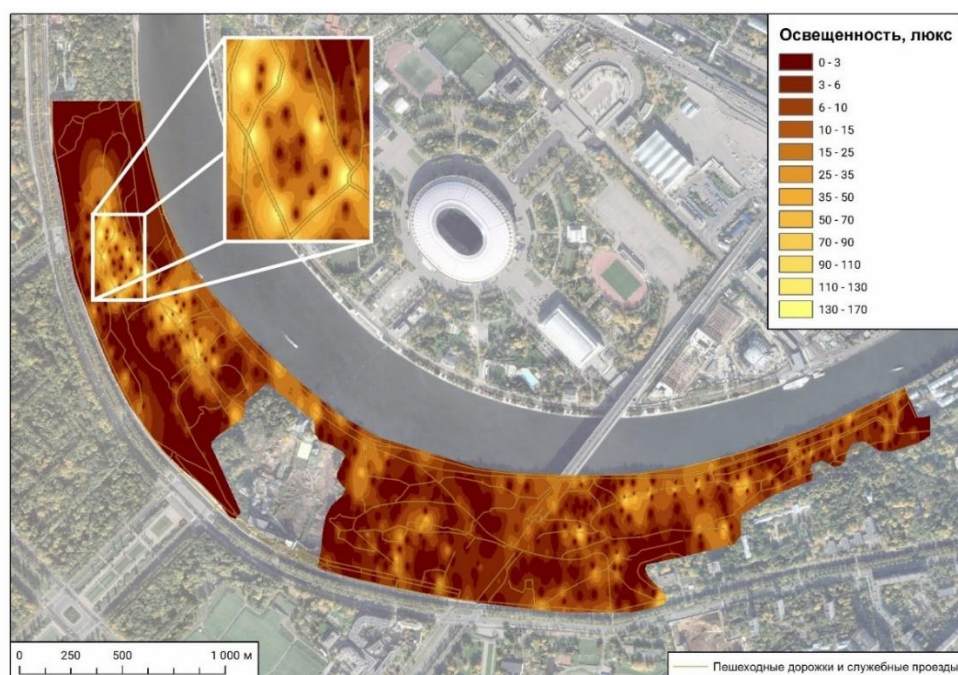


Рис. 2.2.3. Пример использования способа изолиний при картографировании светового загрязнения на участке природного заказника «Воробьевы горы». Составлено автором.

Для решения этой проблемы необходимо либо резко увеличивать частоту измерений, либо создавать сложнейшую модель, которая к каждому инструментальному измерению сразу бы привязывала набор независимых переменных: точное местоположение опор освещения, их технические характеристики (высота опор освещения, угол рассеивания света, его мощность), рельеф, метеорологические характеристики в момент измерения (облачность, относительная влажность, осадки), фазу Луны, густоту древесного покрова, отражательную способность листвы разных пород деревьев, характер почвенного покрытия и многие другие факторы, влияющие на распространение светового потока в ландшафте. Создание подобной модели позволило бы отобразить максимально точную картину освещенности. Однако ее создание стало бы огромным шагом для развития крупномасштабного картографирования светового загрязнения.

Более простым и удобным способом картографирования светового загрязнения в ООПТ является *способ ареалов*. Как упоминалось ранее, любое превышение фонового значения мы считаем световым загрязнением. В таком случае прежде всего необходимо определение фонового значения в максимально темных участках ООПТ. Далее, из этих участков с непрерывно работающим люксметром необходимо идти в сторону освещенных участков до тех пор, пока люксметр не отобразит превышение фонового значения. Эта точка фиксируется на карте, после чего необходимо двигаться в сторону от нее, отслеживая превышения фонового значения и таким образом как бы «очерчивая» границу области со световым загрязнением. Именно этот способ и был использован в настоящем исследовании при определении участков с фоновыми значениями

освещенности. Тем не менее использование этой методики также вызывает вопросы: необходимо измерять горизонтальную или вертикальную освещенность? как проводить измерения над поверхностью земли и в кронах деревьев, если источники освещения светят вверх?¹² Поиск ответов на эти и многие другие вопросы в будущем необходим для более корректного картографирования светового загрязнения.

В научном сообществе¹³ все чаще звучит необходимость изменения методики проведения инструментальных измерений с привычного и установленного по ГОСТу измерения горизонтальной освещенности на измерения по отношению к главному аппарату (т.н. *measure-at-the-eye*). Если освещение, направленное в кроны деревьев, воздействует на птиц, то измерения необходимо проводить в кронах, ориентируя датчик люксметра вниз или в сторону – аналогично тому, как ориентирован в пространстве глазной аппарат птиц. Если освещение, направленное вниз, воздействует, на обитателей наземного покрова, то и измерения необходимо проводить на уровне земли, ориентируя датчик люксметра в сторону.

Использование *точечного способа* возможно для отображения на карте источников светового загрязнения (фонарей, опор освещения, прожекторов и пр.), густоты их распределения по территории.

Картографирование светового загрязнения для решения практических задач включает в себя создание комплекса тематических карт, которые можно объединить в рамках атласной информационной системы, удобной для потребителей и лиц, принимающих решения (см. раздел 5.5).

4. *Геофизический метод* изучения светового загрязнения основывается на подсчете количества энергии фотонов света и тепловой энергии, поступающих в ландшафт от источников искусственного освещения. Обладая техническими характеристиками систем освещения, можно определить количество световой энергии (в Дж), поступающей на 1 м² территории, с последующим сравнением с количеством фотосинтетически активной радиации (ФАР) в течение дня, для начала и конца вегетационного периода, а также для периода вечерних сумерек, когда в городах включается искусственное освещение. Именно добавленная световая энергия может оказывать влияние на сезонную и суточную ритмику ландшафтных процессов: изменять период начала листопада, распускания почек и т.д.

¹² В научной литературе существуют примеры измерений светового загрязнения с помощью приборов, установленных на БПЛА [Masseti et al., 2022; Pizág et al., 2022]

¹³ Из презентации технического вице-президента Международной комиссии по освещению Тони Бергена (The right light at the right time in the right place: Optimizing lighting to promote well-being на конференции Interlight Russia | Intelligent Building Russia (17 сентября 2024 г.))

5. *Ландшафтное профилирование и картографирование, ландшафтно-экологические исследования* проводятся для определения или уточнения ландшафтной структуры территории в целях выявления степени антропогенной трансформации ландшафтов, местообитаний редких видов растений и животных, определения рекреационной и эстетической ценности отдельных участков и т.п. В настоящем исследовании ландшафтно-экологическое профилирование по методике [Беручашвили, Жучкова, 1997] было использовано для актуализации ландшафтной карты на территорию изучаемого ООПТ, измерения уровня освещенности на различных участках территории, влияния рекреационной нагрузки и т.п. В настоящем исследовании была использована рукописная ландшафтная карта Воробьевых гор в масштабе 1:10000, составленная в 2007 г. К.А. Виноградовой и актуализированная нами на основании современных изменений характера землепользования и зафиксированных изменений в ландшафтной структуре ООПТ, после чего на составленную ландшафтную карту наносились ареалы искусственного освещения.

6. *Геоботаническое и зоогеографическое маршрутное обследование* территории может производиться на освещенных и неосвещенных участках аналогичных ландшафтных выделов, при котором сравнивается видовая структура фитоценозов и зооценозов. Это может быть необходимо для мониторинга влияния светового загрязнения на естественный растительный покров: могут изучаться как изменения структуры фитоценозов, так и изменения во времени фенологических процессов. Однако при таком обследовании необходимо учитывать сопутствующее антропогенное нарушение территории: рекреационную дигрессию, условия аккумуляции аэротехногенных поллютантов и т.д. Зоогеографическое маршрутное обследование может проводиться по тому же принципу и сводиться к учету видов орнитофауны и насекомых, для которых установлена физиологическая чувствительность к световому загрязнению, а также видов, привлекаемых источниками искусственного освещения в ночное время, фиксацию хищников, охотящихся на них, и т.д.

В настоящем исследовании в природном заказнике «Воробьевы горы» были заложены тестовые площадки на участках, испытывающих световое загрязнение, и фоновых, при этом тестовые площадки располагались в типичных ландшафтных условиях заказника. Фиксировался видовой состав наземного травяного покрова в условиях различной освещенности, а также возможная реакция растений на избыточную освещенность. Маршрутное обследование проводилось на начальной стадии вегетации.

5. *Историко-культурный и социологический методы.* Важной экосистемной услугой городских ООПТ часто является рекреационная, представленная познавательной, прогулочной, спортивной рекреацией. Поэтому при оптимизации систем освещения для сокращения избыточной световой нагрузки на территории ООПТ должны быть идентифицированы объекты

природного и культурного наследия. Попадание на них избыточных световых потоков может исказить природный вид объекта, что сказывается на его эстетичности. Зачастую такие световые потоки направляются на объекты наследия целенаправленно, для их выделения в окружающем пейзаже, подчеркивания их «уникальности» и «особого статуса». Социологический метод (опрос) позволяет выявлять отношение людей к ландшафтной подсветке, наиболее эстетически ценные участки ООПТ, пейзажи которых нарушаются при попадании в зону освещения, а также отношение людей к изменению эстетических свойств ландшафтов из-за светового загрязнения.

В настоящем исследовании социологический опрос был проведен в природном заказнике «Воробьевы горы» в летне-осенний период 2022 г., в ходе которого было опрошено 128 респондентов-рекреантов заказника (69 мужчин, 59 женщин). Респондентам были заданы вопросы о цели и частоте посещения заказника, отношении к застройке на территории ООПТ, отношении к световому загрязнению и его влиянию на эстетичность пейзажей, а также предложены для выбора наиболее эстетически ценные пейзажи заказника (см. раздел 4.3).

8. *Математическое моделирование* используется для решения практических задач, требующих совокупного анализа разнообразных данных, полученных в т.ч. и при изучении светового загрязнения. Из возможных методов [Савин, 2004, 2019; Топчиев, 1988; Тикунов, 1997; Hwang et al., 1981 и др.] был выбран методический подход В. С. Тикунова, фактически воспроизводящий регрессионный анализ, используемый для установления причинно-следственных связей между независимыми и зависимыми переменными. С помощью метода построения нечетких классификаций по совокупности критериев изменения ландшафтов (уровень светового и шумового загрязнения, наличие объектов инфраструктуры, наличие механических антропогенных изменений, наличие объектов визуального загрязнения и пр.) можно выявить участки ООПТ, нуждающиеся в сохранении в первую очередь, для чего среди прочего необходима минимизация светового загрязнения.

В настоящем исследовании были использованы разнообразные методы, позволяющие выявить пространственное распространение светового загрязнения и его влияние на живые организмы и ландшафты. Некоторые из перечисленных методов (геоботаническое обследование, геофизический и социологический методы, математическое моделирование) будут более подробно раскрыты в соответствующих разделах в главах 4–5.

Несмотря на очевидные достоинства вышеперечисленных методов, для изучения светового загрязнения они практически не применялись. К примеру, корректное выделение ареалов светового загрязнения требует прежде всего разработки нормативов допустимых уровней

освещенности, обоснования проведения измерений в зимний период, когда из-за высокого альбедо снега уровень освещенности естественным образом повышается, и прочих деталей. Расчеты количества добавленной энергии, поступающей в ландшафт от избыточного освещения, для получения более точного результата должны учитывать особенности рельефа, структуру растительного покрова, отражательную способность листвы разных древесных пород, метеорологические характеристики и прочие факторы, и т.п.

Настоящее исследование является по сути первой попыткой предложить методы исследования светового загрязнения на городских ООПТ при практически полном отсутствии проработанной методологии для целей изучения светового загрязнения. Предложенные и используемые в работе методы могут сделать возможным масштабирование подобных исследований в силу их потенциальной воспроизводимости.

2.3. Методика изучения влияния светового загрязнения на экосистемные функции городских ООПТ

Особо охраняемые природные территории в городах – важная составляющая в поддержании экологической устойчивости территории. Ландшафты городских природных территорий выполняют практически весь спектр экосистемных функций, формирующих важнейшие экологические и социальные характеристики городской среды (табл. 2.3.1) [Бобылев, Порфирьев, 2016; Евсеев и др., 2022; De Groot et al., 2010; Bastian et al., 2015; и др.]. Помимо этого, экосистемные функции обеспечивают адаптацию социоприродных систем города к изменяющимся климатическим и социально-экономическим условиям [Белоусов и др., 2022]. В то же время расположение ООПТ в пределах городской черты может обуславливать наличие в них объектов природного и культурного наследия, что подчеркивает значимость предоставляемых ими информационных экосистемных функций [GEO-5, 2012].

Табл. 2.3.1. Экосистемные функции городских ООПТ

<i>Регулирующие</i>	<i>Поддерживающие</i>	<i>Культурные</i>
Фильтрация загрязненного воздуха; Снижение шумового загрязнения; Регулирование микроклимата; Защита от эрозии почв и оползней; Регулирование и фильтрация стока; Опыление	Депонирование углерода; Поддержание биоразнообразия; Почвообразование; Поддержание биогеохимических круговоротов; Производство первичной продукции и др.	Рекреационные; Эстетические; Образовательные; Сохранение культурного наследия; Формирование «чувства места»; Гедонистические и др.

Составлено по: Millenium Ecosystem Assessment, 2005; De Groot et al., 2012; CICES, 2013

Непосредственное влияние светового загрязнения на различные экосистемные функции практически не изучалось, а имеющиеся исследования, как упоминалось ранее, посвящены различным аспектам его влияния на отдельные виды растений и животных, т.е. системные изменения практически не известны на настоящее время. Однако имеющиеся результаты полученных компонентных исследований дают возможность сделать некоторые заключения о системных изменениях в результате светового загрязнения. Прежде всего такие изменения обусловлены изменением потоков энергии внутри ландшафтных процессов (см. раздел 4.2). Поскольку ведущую роль в преобразовании потоков энергии играет растительный покров, то системные изменения в результате светового загрязнения связаны с его трансформацией во времени и пространстве. Такие трансформации непосредственно влияют на различные экосистемные функции. Предполагаемые варианты влияния светового загрязнения на экосистемные функции природного заказника «Воробьевы горы» и эколого-экономическая оценка изменения стоимости пулов экосистемных услуг в результате светового загрязнения будут детально рассмотрены в разделе 4.1.

Здесь же кратко остановимся на особенностях трансформации экосистемных функций, сопряженных с изменениями растительного покрова. Заметим при этом, что дальнейшие исследования в этом направлении неизбежно затронут изменения теплового режима почв, микроклимата, эмерсии экзогенных геоморфологических процессов и т.д., для чего в настоящее время не имеется достаточной информации.

Фильтрация загрязненного воздуха. Древесный покров ООПТ способствует сокращению аэротехногенных поллютантов и задерживает пылевые частицы, а также участвует в депонировании углерода, поглощая углекислый газ. Пылеудерживающая способность растений зависит от площади поверхности листовой пластины, ее опушенности и шероховатости, а также от густоты кроны деревьев, и потому сильно различается у разных пород [Илькун, 1978; Юртай, 2022]. В условиях же избыточного освещения продолжительность вегетационного периода у растений может возрасть в среднем на 2–5 недель (см. раздел 1.3), что позволяет им дольше не сбрасывать листву и, как следствие, обеспечивать более длительную фильтрацию и поглощение углекислого газа, улавливание пыли. Известно, что один гектар широколиственного леса может улавливать до 200 кг пыли за вегетационный период [Чернышенко, 2012]. Зная площадь лесного массива и продолжительность вегетационного периода, можно оценочно рассчитать, на сколько увеличится объем улавливаемой пыли за дополнительные 2–5 недель.

Снижение шумового загрязнения. Кроны лиственных деревьев рассеивают, отражают и поглощают около 25% попадающей на них звуковой энергии [Горохов, 1991]. Чем больше площадь листьев и гуще крона дерева или кустарника, тем сильнее выражена звукопоглощающая

способность пород. Влияние светового загрязнения на эту экосистемную функцию опосредованно выражается в виде более продолжительной вегетации растений и, как следствие, более долгом (на 2–5 недель) задерживании шумового загрязнения. Снижение уровня шума в этот «дополнительный» период может создать более комфортные условия для подготовки обитателей ООПТ к спячке в зимний период или миграции птиц, а для посетителей ООПТ – более благоприятные условия для рекреации.

Регулирование микроклимата. Эта экосистемная функция особенно важна для рекреационных территорий. Массив зеленых насаждений в городских ООПТ регулирует температуру, влажность воздуха и снижает скорости ветра, активно влияя на климатическую комфортность среды, особенно в летний период. Так, кроны деревьев препятствуют проникновению большей части солнечного излучения, поэтому в крупных ООПТ летняя температура воздуха может снижаться на 6°C по сравнению с фоном [Мягков, 2007]. Воздействие светового загрязнения на эту экосистемную функцию такое же, как и упомянутое выше – за счет увеличения срока вегетации растений, что удлиняет продолжительность рекреации в весенние и осенние месяцы.

Защита от эрозии почв и оползней. Растительный покров выполняет важную функцию защиты почв от эрозии, предотвращая смыв верхнего почвенного горизонта. Известно, что смыв почвы в лесной зоне возникает при крутизне склона 1,5–2,0°, сильный смыв происходит при 5–8° [ТЕЕВ, 2011]. При наличии естественного растительного покрова эрозия незначительна, однако его деградация из-за вероятного выпадения тенелюбивых растений в условиях светового загрязнения может привести к потере плодородных горизонтов почв, препятствуя восстановлению растительного покрова. Развитие эрозионных процессов провоцирует рост оврагов, что в свою очередь способствует неблагоприятным изменениям ландшафтов, снижает их рекреационную привлекательность. С теми же причинами связана и возможная активизация оползневой деятельности на склонах. Так, суглинистые склоны подвержены оползневой опасности при крутизне от 19° [Динамическая геоморфология..., 2015].

Водоочистная функция лесных массивов в городских ООПТ выражается в способности почв повышать качество поверхностных и грунтовых вод, очищая их от химического загрязнения путем механического удержания и адсорбции почвенными коллоидами растворенных в воде веществ. Однако влияние энергии избыточных фотонов света на химическое поглощение поллютантов в почвах изучено слабо. Как упоминалось в разделе 1.3, фотохимическое воздействие света повышает кислотность подзолистых почв.

*Водоохранн*ые и *водорегулирующие функции* (или процессы формирования стока) существенно нарушены в «запечатанных» городских пространствах. Лесопокрытые территории ООПТ способствуют повышению стока, хотя эта зависимость нелинейна. Для зоны смешанных и широколиственных лесов с преимущественным распространением моренных суглинистых равнин прирост стока на каждые 10% прироста лесистости составляет 15–20 мм [ТЕЕВ, 2016]. Водоохранн

ые функции облесенных территорий обусловлены влиянием на перераспределение годового стока за счет фильтрации, повышению снегонакопления в зимний период, локальных изменений микроклиматических характеристик (увеличение облачности, горизонтальная конденсация). Прирост осадков в равнинных лесах по сравнению с безлесными территориями составляет 10% [Рахманов, 1981]. Из-за развития эрозионных процессов вследствие исчезновения тенелюбивых растений в условиях светового загрязнения функция регулирования стока нарушается. В условиях кислой реакции среды снижается емкость поглощения (*емкость катионного обмена, ЕКО*) почв [Соколова и др., 2012], что способно увеличить концентрацию поллютантов в грунтовых водах.

Функция *опыления* в городских ООПТ осуществляется насекомыми-опылителями и имеет огромное значение для воспроизводства популяции растений. Наиболее эффективными насекомыми-опылителями являются пчелы, цветочные осы, бабочки, мухи и др. Ночные опылители – мотыльки – часто посещают растения, игнорируемые дневными опылителями и в ряде случаев работают более эффективно в переносе пыльцы [Anderson et al., 2023]. Известно, что посещение цветущих растений насекомыми-опылителями на освещаемых участках в ночное время на 60% меньше, чем на неосвещаемых [Knop et al., 2017]. Таким образом, световое загрязнение может привести к снижению биоразнообразия растений.

Одна из важнейших экосистемных функций любого лесного массива, тем более в пределах урбанизированных территорий – *поглощение и связывание углерода* из атмосферного воздуха, позволяющее частично нейтрализовать выбросы углекислого газа в атмосферу. Освещение деревьев искусственными источниками в ночное время продлевает фотосинтез, в результате чего молодые растения могут поглощать большее количество углекислого газа, а рост продолжительности вегетационного периода, сопровождающийся всплеском роста вегетативных частей растений, позволяет увеличить количество поглощаемого углекислого газа еще больше.

Известно, что молодые лесные насаждения Московской области депонируют от 0,9 до 3,0 т С/га/год, в то время как спелые и перестойные практически ничего не депонируют [Бобылев и др., 1999]. Таким образом, степень влияния светового загрязнения на эту экосистемную функцию зависит от преобладающего возраста насаждений. Зная площадь лесного массива, породный

состав и возрастную структуру растительности, можно оценочно рассчитать величину депонирования углерода за счет дополнительного периода вегетации.

Влияние светового загрязнения на функцию *поддержания биоразнообразия* проявляется очевиднее всего в трансформации структуры растительного покрова (исчезновении тенелюбивых растений на освещаемых в ночное время участках), снижении численности популяции насекомых, в т.ч. насекомых-опылителей, гибнущих близ источников освещения, исчезновении некоторых видов птиц, наиболее уязвимых к высокому уровню светового загрязнения, и т.п. (см. раздел 1.3).

Влияние светового загрязнения на информационные экосистемные функции городских ООПТ заключается в изменении внешнего облика ландшафтов, ухудшении их эстетических характеристик, присущих заповедным территориям [Menatti, Casado da Rocha, 2018; Szczepańska et al., 2019; Jahani et al., 2021 и др.]. Это в свою очередь снижает рекреационные ресурсы территории. Трансформация внешнего облика территории, особенно вблизи памятников культурного наследия, разрушает традиционный образ, хранимый в исторической памяти многих поколений, что не способствует формированию «чувства места» – важнейшей экосистемной информационной функции, обеспечивающей социальную стабилизацию [Menatti et al., 2023; Ramírez et al., 2023 и др.].

Глава 3. Световое загрязнение природного заказника «Воробьевы горы»

3.1. Световое загрязнение ООПТ Москвы

До XVIII в. уличного освещения в Москве не было вовсе. Лишь в 1730 г. указом императрицы Анны Иоанновны в Москве были установлены первые масляные фонари, которые впоследствии сменились спиртовыми, керосиновыми, газовыми и электрическими фонарями. В 1960–1970 гг. для уличного освещения стали использовать газоразрядные ртутные лампы высокого давления, излучающие голубовато-белый свет, а в 1975 г. в столице впервые появились натриевые лампы высокого давления [Харкеевич и др., 2007]. В 2010 г. в Москве впервые заработало светодиодное освещение, ныне быстро вытесняющее другие виды освещения¹⁴. Всего в городе установлен почти 1 млн фонарей общей мощностью 105 МВт, на выработку которой тратится 396 млн кВт/ч электроэнергии¹⁵. Это делает Москву одним из самых загрязненных светом городов мира, наряду с Лондоном, Парижем, Нью-Йорком и Токио.

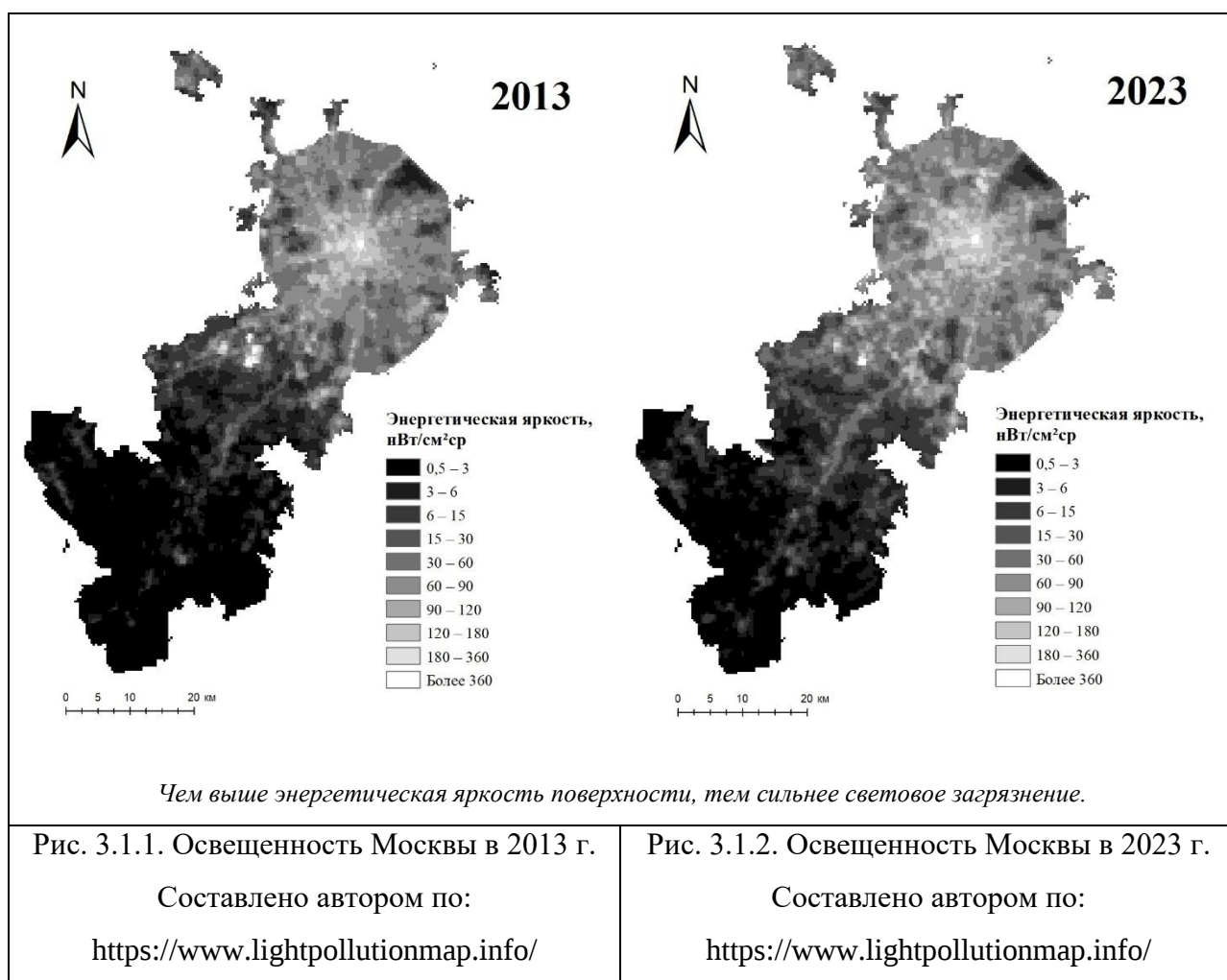
Обработка данных дистанционного зондирования была выполнена с помощью метода классификации, описанного в разделе 2.2. Были сравнены два ночных космических снимка Москвы за 2013 и 2023 гг. В ходе классификации было выделено 10 классов освещенности, в основе которых лежит количественный показатель энергетической яркости поверхности (табл. 3.1.1, рис. 3.1.1 и 3.1.2).

Табл. 3.1.1. Изменение освещенности г. Москвы за 2013–2023 гг.

Энергетическая яркость территории, нВт/см ² ср	Площадь в 2013 г., км ²	Площадь в 2023 г., км ²	Доля от площади Москвы в 2013 г.	Доля от площади Москвы в 2023 г.
0,5–3	829,4	549,8	32,38%	21,46%
3–6	250,1	268,5	9,76%	10,48%
6–15	303,6	346,7	11,85%	13,53%
15–30	216,5	252,3	8,45%	9,85%
30–60	391,8	417,9	15,30%	16,31%
60–90	365,3	419,0	14,26%	16,36%
90–120	124,7	190,1	4,87%	7,42%
120–180	61,6	96,5	2,41%	3,77%
180–360	14,3	18,1	0,56%	0,71%
Более 360	4,2	2,7	0,16%	0,10%
Всего	2561,5	2561,5	100%	100%

¹⁴ Сергей Собянин: к 2030 году в Москве установят еще около 65 тысяч фонарей / mos.ru [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mos.ru/mayor/themes/11714050/> (дата обращения 18.09.2024)

¹⁵ Как Москва вышла из сумрака. История городского освещения / РИА Новости [Электронный ресурс] // URL: <https://ria.ru/20211214/moscow-light-1760700321.html> (Дата обращения: 25.03.2024)



Минимальное значение энергетической яркости обозначает фоновое или близкое к фоновому значение освещенности. Наиболее темные участки на карте, преобладающие на территории Новой Москвы (ТиНАО), отображают лесные массивы и неосвещаемые пахотные земли. Однако по мере приближения к крупным транспортным магистралям и к МКАД освещенность возрастает многократно. В самой же Москве участков с показателем энергетической мощности менее $15 \text{ нВт/см}^2\text{ср}$ практически нет.

Сравнение уровня освещенности за минувшее десятилетие отображено в табл. 3.1.1. Площадь участков с фоновыми значениями освещенности (до $3 \text{ нВт/см}^2\text{ср}$) сократилась на 10,9%, в то время как общая площадь территорий со средней и высокой¹⁶ степенью светового загрязнения (от $15 \text{ нВт/см}^2\text{ср}$) возросла на 8,5%.

¹⁶ Как и упоминалось ранее, мы не можем корректно ранжировать световое загрязнение, поэтому используем признаки «средняя» и «высокая» степень по отношению к нему весьма условно.

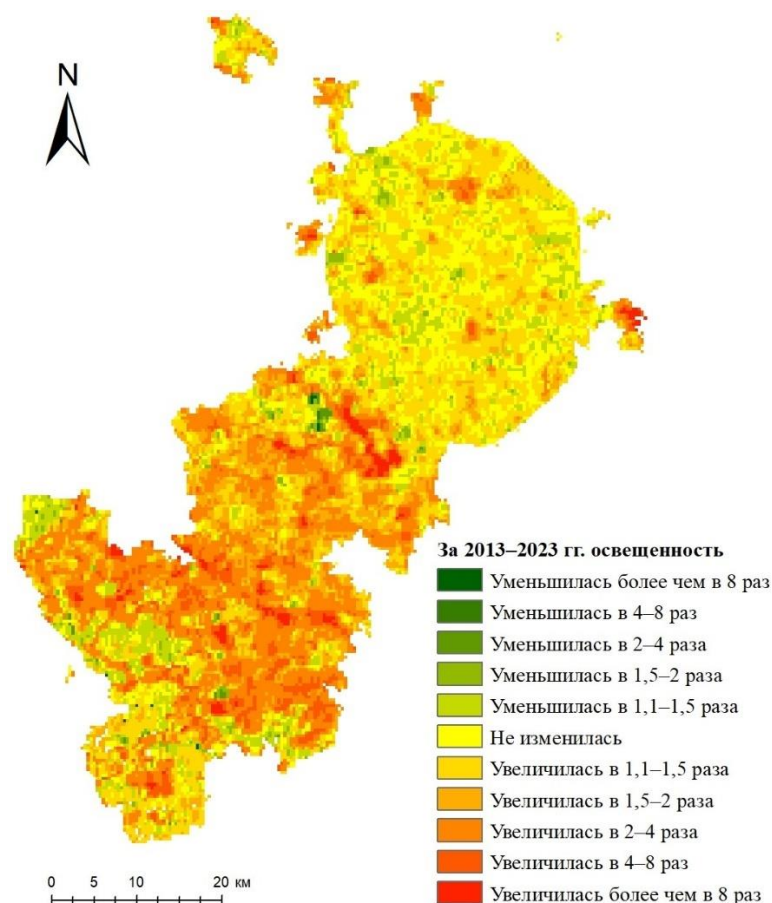


Рис. 3.1.3. Динамика изменения освещенности Москвы за 2013–2023 гг. Составлено автором.

На рис. 3.1.3 наглядно показана разница за эти десять лет. На 464 км² (18% площади Москвы) освещенность территории практически никак не изменилась, однако на 1079,7 км² (42,1% площади) освещенность увеличилась в 1,1–2 раза, на 737 км² (28,8% площади) – более чем в 2 раза. Наиболее сильное *освещение* наблюдается к юго-западу от МКАД и на востоке столицы, в пределах выступа близ г. Люберцы, где в последнее десятилетие происходит масштабное капитальное строительство. Хотя и незначительное по площади (3,7 км²), но сильное *затемнение* территории наблюдается близ г. Московский, где за последнее десятилетие на месте тепличного хозяйства, ярко освещаемого по ночам, были возведены жилые кварталы.

В пределах МКАД интенсивность светового загрязнения возросла в связи с установкой дополнительного наружного освещения на основных транспортных магистралях и набережных, а также с использованием архитектурно-художественной иллюминации на сооружениях столицы. По территории Новой Москвы световое загрязнение распространяется особенно быстро: в ТиНАО только за 2016 г. было установлено почти 3 тыс. светодиодных светильников

на дворовых территориях, вдоль дорог, у школ и детских садов, в парках и зонах отдыха¹⁷. Подобное увеличение освещенности началось после принятия Правительством Москвы постановления «О комплексной городской целевой программе развития наружного освещения и архитектурно-художественной подсветки города Москвы на 2011–2015 годы». Более того, возросла освещенность некоторых крупных ООПТ и парков столицы – Главного ботанического сада РАН, Тимирязевского лесопарка, природных территорий района Крылатское, Битцевского леса, музея-заповедника Царицыно, парка Кузьминки и пр. Таким образом, установка дополнительного освещения за последнее десятилетие снизило общую площадь исконно темных природных пространств города: участков лесных массивов, парков и ООПТ.

Особо охраняемые природные территории в пределах Москвы как элементы зеленой инфраструктуры обеспечивают как экологические, так и социальные функции. ООПТ выполняют важнейшие экосистемные функции, от средообразующих до информационных [Millenium Ecosystem Assessment, 2005]. Однако расположение ООПТ внутри урбанизированных территорий неизбежно влечет комплексное негативное антропогенное воздействие на их геосистемы, связанное с физическим и химическим загрязнением территории, ее механическими нарушениями и т.п. Подобное воздействие со временем приводит к истощению пулов экосистемных услуг и последующей утрате такими территориями природоохранного статуса, который не всегда обеспечивает необходимую защиту городских ООПТ [ТЕЕВ, 2011].

Из 79 ООПТ Москвы¹⁸ именно в комплексных природных заказниках¹⁹ наиболее явно прослеживается изменение характера использования земель, наблюдается увеличение в них рекреационной нагрузки, что связано с особенностями нормативно-правового регулирования использования этого вида природоохранных территорий в Федеральном законодательстве. Так, во всех кадастровых документах природных заказников Москвы одной из целей создания таких территорий является «обеспечение условий для прогулок и отдыха в природном окружении» в дополнение к природоохранным.

В Москве за последние три десятилетия создано 10 комплексных природных заказников: Аннинский, Воробьевы горы, Дегунинский, Долина реки Горетовки, Долина реки Сетунь,

¹⁷ Ночи в Москве стали светлее на 40% с 2010 года / Москва24 [Электронный ресурс] // URL: <https://www.m24.ru/news/blagoustrojstvo/21102017/14424> (Дата обращения: 25.03.2024)

¹⁸ На их территории могут находиться ООПТ более низкого ранга. Например, на территории Алтуфьевского комплексного заказника располагаются памятники природы «Старые деревья в усадьбе «Алтуфьево» и «Родник на Алтуфьевском шоссе». Суммарное число ООПТ всех рангов в Москве составляет 148 (по состоянию на 01.11.2024).

¹⁹ В данном исследовании не рассматриваются фаунистические или ландшафтные заказники, т.к. объектом сохранения в них является только один из компонентов природной среды.

Долина реки Сходни в Алабушево, Жулебинский, Северный, Склоны долина реки Москвы в Сабурово, Троицкий (рис. 3.1.4–3.1.5). Все эти заказники в той или иной степени затронуты световым загрязнением (табл. 3.1.2). Отметим, что они находятся в центре светового купола Москвы, диаметр которого достигает 70 км.

Табл. 3.1.2. Освещенность природных заказников г. Москвы

Природный заказник	Площадь	Площадь освещенной территории ²⁰	Доля освещенной территории в общей площади заказника
Аннинский	9,5 га	0,2 га	1,5%
Воробьевы горы	137,5 га	59,9 га	44%
Дегуниинский	8,5 га	3,9 га	46%
Долина реки Горетовки	105,5 га	24,7 га	23,4%
Долина реки Сетунь	700 га	106,4 га	15,2%
Долина реки Сходни в Алабушево	44,5 га	10,2 га	22,9%
Жулебинский	112 га	6,3 га	5,6%
Северный	93,5 га	8,3 га	8,9%
Склоны долины реки Москвы в Сабурово	4 га	1,54 га	61,5%
Троицкий	17,1 га	1,8 га	10,2%

Составлено автором на основе инструментальных измерений.

Природный заказник «Воробьевы горы» находится на третьем месте среди других заказников по площади освещенных территорий. Забегая вперед, отметим, что система освещения на Воробьевых горах разительно отличается от каких бы то ни было уличных систем освещения как по уровню освещенности, так и по мощности осветительных установок. Заказник характеризуется и своим близким расположением к центру города, удобной транспортной доступностью, интенсивным рекреационным использованием. Помимо этого, Воробьевы горы отличаются от других заказников богатым видовым разнообразием флоры и фауны, в т.ч. и видов, внесенных в Красную книгу Москвы. Этим набором факторов обосновывается выбор его в качестве модельного объекта настоящего исследования.

²⁰ Освещенными мы считаем территории с уровнем освещенности, превышающим фоновое значение (0,9 лк). Подробнее о фоновом значении будет сказано в разделе 3.3.

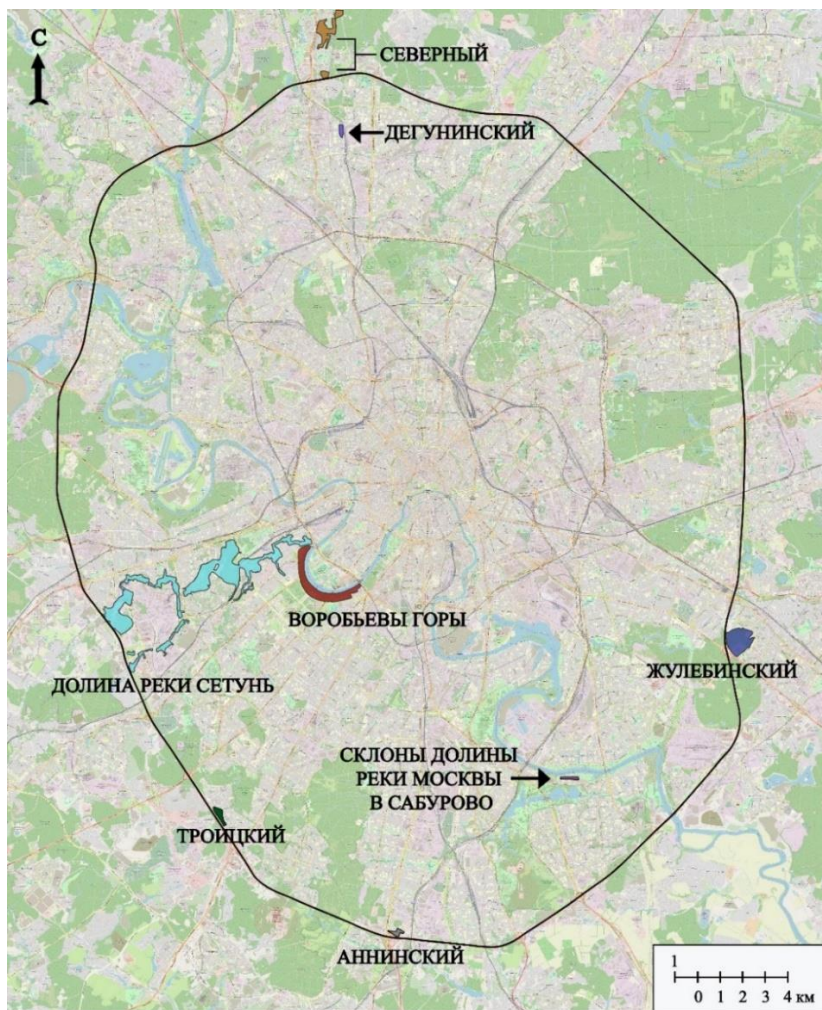


Рис. 3.1.4. Комплексные природные заказники Москвы в пределах МКАД (по состоянию на 01.11.2024). Составлено автором.

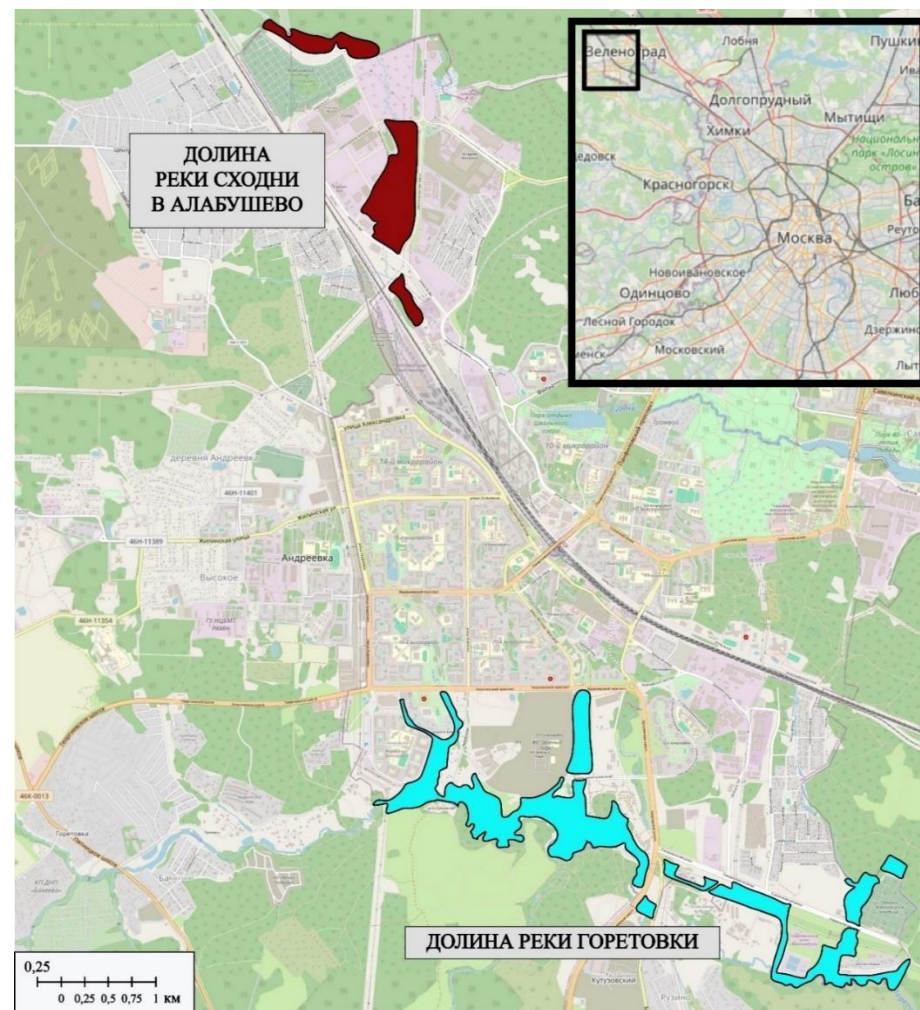


Рис. 3.1.5. Комплексные природные заказники Москвы в пределах Зеленоградского административного района Москвы (по состоянию на 01.11.2024). Составлено автором.

3.2. Комплексная геоэкологическая характеристика природного заказника «Воробьевы горы»

Физико-географическое положение. Природный заказник «Воробьевы горы» расположен в пределах двух административных округов Москвы – Западного и Юго-Западного (рис. 3.1.4). Заказник тянется узкой полосой протяженностью 4 км и шириной от 100 до 400 м вдоль правого берега р. Москвы от устья р. Сетунь до Андреевского моста. С юга и запада заказник ограничен ул. Косыгина, с северо-запада – Воробьевским шоссе, с востока – Третьим транспортным кольцом. Таким образом, границы заказника проходят по транспортным магистралям и по набережной р. Москвы, что говорит об отсутствии связи территории с другими объектами экологического каркаса столицы. Природный заказник расположен всего в 6 км от центра города, что делает его самым близким к Кремлю ООПТ и одним из наиболее доступных для посещения. Площадь заказника – 137,5 га.

Геолого-геоморфологическая характеристика территории. Воробьевы горы, несмотря на свое название, как таковыми горами не являются – это прибрежная часть и крутой обрыв Теплостанской возвышенности к р. Москве. Абсолютные отметки бровки склона составляют 185–187 м, подошвы у уреза воды – около 120 м, следовательно, относительная высота составляет 65–67 м. Крутизна верхней части склона составляет 18–25°, на отдельных участках – до 40°. Склон в нижней части более пологий – 5–10° [Таранец, Алексеева, 2022]. Большая часть территории заказника нарушена глубокими оползнями выдавливания, осложненными мелкими и поверхностными оползнями. В геоморфологическом отношении именно оползневая активность определяет характер рельефа территории. Оползневые процессы выражены буграми и грядами, оползневыми цирками, уступами, рвами растяжения и отседания [Лукашов, 2010]. Склоны сильно изрезаны рытвинами, промоинами, оплывинами, а также глубокими оврагами, на склонах которых часто встречаются выходы ключей и родников.

Оползневая активность связана с геологическим строением территории. В основании Воробьевых гор залегают трещиноватые, закарстованные и обводненные каменноугольные известняки, перекрытые верхнеюрскими глинами, выполняющими роль водоупора. Выше располагаются морские глины оксфордского яруса верхней юры, на которых залегают водопроницаемые пески и песчаники нижнего мела, перекрытые толщей ледниковых и водно-ледниковых суглинистых среднеплейстоценовых отложений [Лукашов, 2010]. Оксфордские глины являются основным деформирующим горизонтом, стимулирующим оползневую деятельность. К толще нижнего мела приурочены межпластовые воды, обеспечивающие питание родников на склонах Воробьевых гор и смачивающих поверхности скольжения оползневых тел.

В настоящее время на территории Воробьевых гор выделяется пять секторов по фактору риска возникновения оползневых процессов (рис. 3.2.2) [Лукашов, 2008]. В пределах второго-четвертого секторов какое-либо капитальное строительство недопустимо из-за высоких рисков разрушения. В конце 2010-х гг. в результате лишь искусственного «оснежения» горнолыжного спуска, повлекшего переувлажнение склона, были зафиксированы подвижки грунтов, разрывы асфальтового покрытия и гранитной балюстрады на смотровой площадке [Самсонова и др., 2013]. Строительство новых спортивных объектов на Воробьевых горах, происходящее в настоящее время на территории третьего и четвертого секторов, может еще сильнее активизировать оползневые процессы (рис. 3.2.1).



Рис. 3.2.1. Трещина отседания у смотровой площадки как признак оползневой активности склона. Фото автора от 04 апреля 2024 г.



Рис. 3.2.2. Сектора Воробьевых гор по фактору риска возникновения оползневых процессов, выделенные по [Лукашов, 2008].

Климатическая характеристика. Территория заказника, как и вся Москва, расположена в зоне умеренно континентального климата. Умеренно мягкая зима длится с конца ноября по конец марта, со температурами до -20°C и ниже. Лето умеренно теплое, со средней температурой $+20^{\circ}\text{C}$. На климатические условия города оказывает существенное влияние циклональная деятельность. В течение года над территорией Москвы наблюдается высокая повторяемость юго-западных и западных ветров [Климат Москвы..., 2017].

Расположение заказника на относительно большой высоте над уровнем города способствует хорошей продуваемости прибрежной части территории ветрами, однако крутые склоны защищают растительность Воробьевых гор от них. Соседство с рекой способствует увлажнению воздуха и уменьшению его запыленности, а также оказывает охлаждающее

воздействие на микроклимат заказника летом, однако этот микроклиматический эффект наблюдается преимущественно вблизи набережной. Очищению воздуха также способствуют долинны́е ветры, дующие вдоль р. Москвы.

Ветер влияет и на распределение снежного покрова. На вершинах Воробьевых гор мощность снежного покрова меньше, а на склонах и в низинах скапливается снег. Высота снежного покрова в заказнике по собственным наблюдениям составляет 30–50 см. Весеннее таяние снега происходит быстрее всего на вершине склона, где больше приток солнечной радиации. Среднее годовое количество осадков составляет 600–800 мм, бо́льшая их часть выпадает в летний период, что способствует увлажнению склонов и активизации оползневых процессов. Гидрологический режим территории спортивного комплекса, помимо выпадающих осадков, усложняется за счет дополнительного увлажнения и оснежения склонов (рис. 3.2.3) (до 70 тыс. м³)²¹.

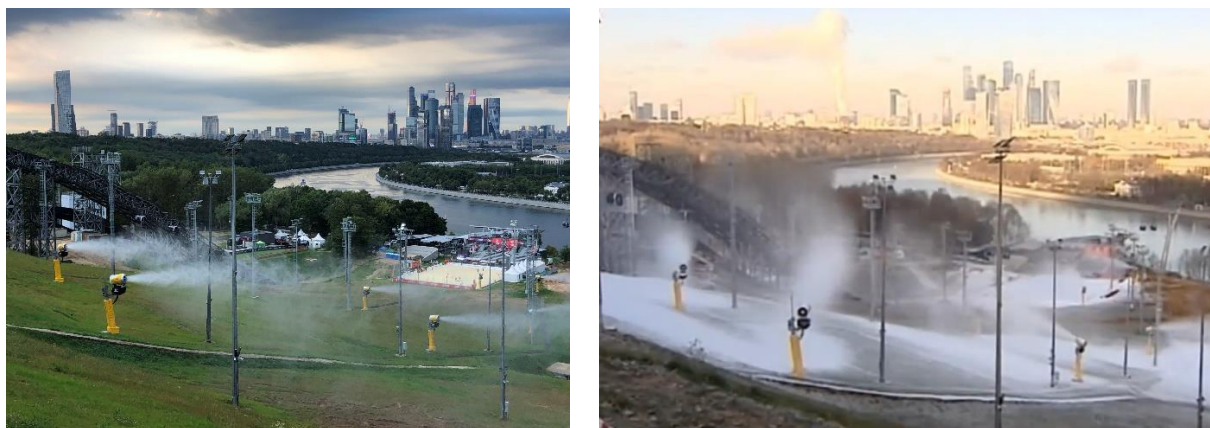


Рис. 3.2.3. Искусственное увлажнение и оснежение горнолыжных спусков в спортивном комплексе «Воробьевы горы». 1-е фото автора, 2-е – портал «Москва24»

Экспозиция склонов играет немаловажную роль в формировании микроклимата территории. На Воробьевых горах экспозиция преимущественно северная, поэтому их склоны прогреваются дольше ввиду поступления меньшего количества солнечной радиации, а снег в отдельных оврагах задерживается до поздней весны [Михеев, 2009; Климат Москвы..., 2017].

Гидрологическая характеристика. Территория Воробьевых гор рассечена густой сетью оврагов и ручьев, берущих свое начало в родниках. Ручьи текут по оврагам и оползневым западинам. На территории заказника можно выделить 15 сравнительно крупных ручьев протяженностью от 50 до 400 м, в своих низовьях заключенных в коллекторы. Остальные же

²¹ Снежные пушки заработали на горнолыжном комплексе "Воробьевы горы" / Москва24 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.m24.ru/videos/gorod/20112023/640900> (дата обращения: 13.07.2024)

ручьи слишком коротки и мелководны, чтобы объединиться в сколь-нибудь заметные водотоки [Насимович, 2010]. Вода в ручьях обладает нейтральной или слабо щелочной реакцией среды ($pH \sim 7,5$), в некоторых ручьях вода содержит примеси железа²². На территории заказника расположены 3 копанных пруда (Большой Андреевский, Малый Андреевский и Лесной пруд) общей площадью около 8700 м².

Почвенный покров. Москва находится в южной части лесной зоны Восточно-Европейской равнины с типичными для нее лесными дерново-подзолистыми почвами. Ими и представлены прибровочные части склонов и склоны Воробьевых гор, хоть и значительно преобразованные человеком и местами смытые. У подножия склонов, в эрозионно-оползневых ложбинах получили развитие дерновые оглеенные почвы. Аллювиальные террасы, техногенно выровненные при благоустройстве территории в 1950–1960-х гг., представлены урбоземами дерново-подзолистого типа с включениями битого кирпича, щебня, гравия и известняковой крошки [Парамонова и др., 2010]. По укрепленным откосам набережной и вблизи опор метромоста встречаются реплантоземы – искусственно созданные почвы с верхним гумусированным торфокомпостным слоем на нарушенных грунтах.

Перепады высот на территории Воробьевых гор определяют доминирование поверхностного стока над вертикальной миграцией почвенной влаги, что препятствует процессу оподзоливания почв и способствует оглеению в понижениях рельефа. Реакция почвенной среды определяется как нейтральная или слабощелочная [Парамонова и др., 2010], однако наблюдается постепенное смещение pH почв в щелочную среду, что связано с поступлением в них антигололедных смесей с тротуаров и постепенным выветриванием антропогенных включений (фрагментов строительных материалов, обломков цемента, кирпичей и т.д.). Почвы в заказнике характеризуются высокой степенью химического загрязнения, источниками которого является проезжая часть улицы Косыгина и Лужнецкого метромоста. Поллютанты с них аккумулируются в прибровочной части склона и далее переносятся вниз по ландшафтной катене. Локальные точки концентрации поллютантов наблюдаются близ строений. Почвы в заказнике содержат нефтепродукты, цинк, свинец, медь, ртуть и прочие поллютанты, концентрация которых превышает ПДК в 2–30 раз [Тишкина и др., 2010].

Растительный покров. Воробьевы горы расположены на территории Теплостанского геоботанического подрайона, входящего в геоботанический район широколиственных лесов

²² Московские экологи подвели итоги проверки родников на Воробьевых горах / Пресс-служба: МГУ в СМИ – архив. 05 апреля 2010 г. [Электронный ресурс]. – URL: https://msu.ru/press/smiaboutmsu_arch/moskovskie_ekologi_podveli_itogi_proverki_rodnikov_na_vorobevykh_gorakh.html (дата обращения: 06.07.2024)

[Природа города..., 1947]. Лесной массив на территории заказника занимает 61% площади (84,6 га, без учета участков, занятых сторонними землепользователями), представленный более чем 40 видами древесных пород. Большинство деревьев было высажено в 1950–1960-х гг., однако на территории заказника встречаются и старовозрастные деревья, которым более 150–200 лет (в основном дубы). Главными лесообразующими породами деревьев в заказнике являются липа сердцевидная (*Tilia cordata*), береза повислая (*Betula pendula*), дуб черешчатый (*Quercus robur*), тополь бальзамический (*Populus balsamifera*), клен остролистный (*Acer platanoides*), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*), ива белая (*Salix alba*). Встречаются некогда высаженные здесь лиственница сибирская (*Larix sibirica*), голубая ель (*Picea pungens*), каштан конский (*Aesculus hippocastanum*), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica*), акация белая (*Robinia pseudoacacia*), туя западная (*Thuja occidentalis*). Изредка встречаются черная ольха (*Alnus glutinosa*), вяз гладкий (*Ulmus laevis*).

Кустарники на Воробьевых горах представлены не только типичными для этой природной зоны, но и различными декоративными видами. Наиболее часто на территории заказника встречаются бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosus*), сирень (*Syringa sp.*), жимолость лесная (*Lonicera xylosteum*), снежноягодник (*Symphoricarpos sp.*), спирея (*Spiraea sp.*), малина обыкновенная (*Rubus idaeus*).

Наземный растительный покров представлен 330 видами, из которых 36 видов внесены в Красную книгу Москвы: гусиный лук желтый (*Gagea lutea*), ландыш майский (*Convallaria majalis*), ирис желтый (*Iris pseudacorus*), горичвет кукушкин (*Coccyanthe flos-cuculi*), воронец колосистый (*Actaea spicata*), хохлатка полая (*Corydalis cava*), астрагал датский (*Astragalus danicus*), чина весенняя (*Lathyrus vernus*), фиалка душистая (*Viola odorata*), медуница неясная (*Pulmonaria obscura*), колокольчик раскидистый (*Campanula patula*) и др. [Особо охраняемые..., 2013]. На Андреевских прудах произрастают водные и околотоводные растения: камыш озерный (*Schoenoplectus lacustris*), рогоз широколистный (*Typha latifolia*), кувшинка белая (*Nymphaea alba*), частуха подорожниковая (*Alisma plantago-aquatica*), белокрыльник болотный (*Calla palustris*), рдест плавающий (*Potamogeton natans*) и др.

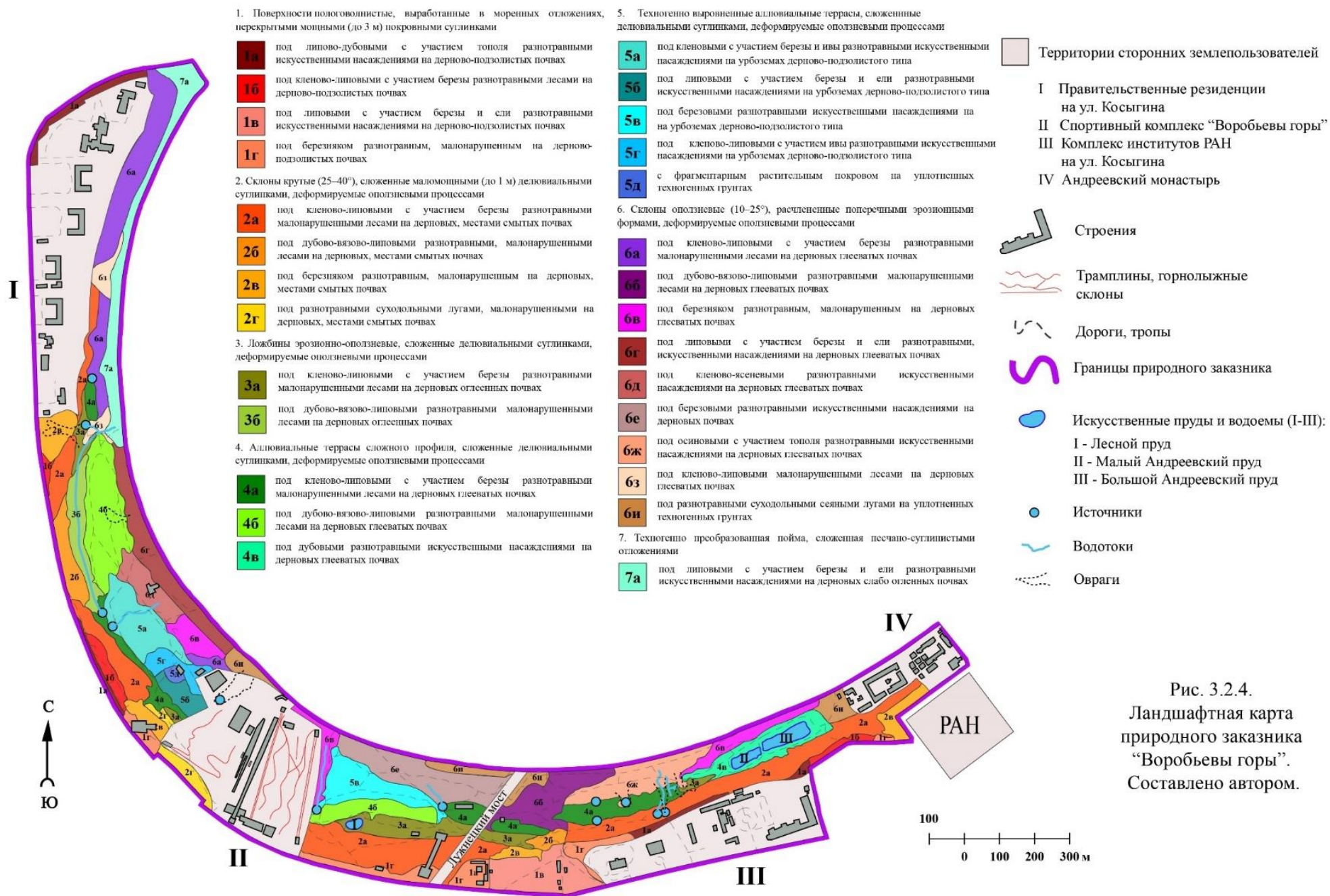
Животный мир. Природный заказник «Воробьевы горы» отличается богатым видовым составом орнитофауны. Тут обитают такие виды птиц, как белая трясогузка (*Motacilla alba*), большой пестрый дятел (*Dendrocopos major*), лазоревка обыкновенная (*Cyanistes caeruleus*), мухоловка-пеструшка (*Ficedula hypoleuca*), певчий дрозд (*Turdus philomelos*), пеночка-теньковка (*Phylloscopus collybita*), пищуха (*Certhia familiaris*), поползень обыкновенный (*Sitta europaea*), сизая чайка (*Larus canus*), соловей (*Luscinia luscinia*), кряква (*Anas platyrhynchos*), огарь (*Tadorna ferruginea*), озерная чайка (*Chroicocephalus ridibundus*) и др. При этом из более чем 90 видов птиц

почти треть внесена в Красную книгу Москвы: ворон (*Corvus corax*), иволга обыкновенная (*Oriolus oriolus*), крапивник (*Troglodytes troglodytes*), чиж обыкновенный (*Spinus spinus*), кукушка (*Cuculus canorus*), малый пестрый дятел (*Picoides minor*), пустельга обыкновенная (*Falco tinnunculus*), серая неясыть (*Strix aluco*), снегирь обыкновенный (*Pyrrhula pyrrhula*), сорокопуд-жулан (*Lanius collurio*), ушастая сова (*Asio otus*), чеглок (*Falco subbuteo*), ястреб-перепелятник (*Accipiter nisus*), ястреб-тетеревятник (*Accipiter gentilis*), чернеть хохлатая (*Aythya fuligula*) и др. [Особо охраняемые..., 2013].

Крупных млекопитающих в заказнике нет – этот класс представлен всего 11 видами, в числе которых есть и внесенные в Красную книгу Москвы: обыкновенный еж (*Erinaceus europaeus*), европейский крот (*Talpa europaea*), обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus*) и ласка (*Mustela nivalis*). Встречаются и рукокрылые: бурый ушан (*Plecotus auritus*), двухцветный кожан (*Vespertilio murinus*), ночница Брандта (*Myotis brandtii*), водяная ночница (*Myotis daubentonii*) и пр. Разнообразие земноводных в заказнике невелико и представлено лишь травяной (*Rana temporaria*) и озерной лягушкой (*Pelophylax ridibundus*). Класс пресмыкающихся представлен обыкновенным ужом (*Natrix natrix*). После масштабного изменения ландшафтов территории во второй половине XX в. многие виды животных были утеряны (серая жаба, гребенчатый и обыкновенный тритон и др.).

Ландшафтная структура природного заказника «Воробьевы горы» разнообразна (рис. 3.2.4). В прибрежной части склона выделяются пологоволнистые поверхности под кленово-липово-дубовыми естественными насаждениями и искусственными насаждениями ели на дерново-подзолистых почвах. На крутых склонах, деформируемых оползневыми процессами, произрастают кленово-липовые и дубово-липовые разнотравные малонарушенные леса на дерновых, местами смытых почвах. В подножии склонов располагаются эрозионно-оползневые ложбины, образованные во рвах растяжения в ходе смещения шарнирных оползней и впоследствии выработанные текущими водами (поверхностным стоком и межпластовыми водами), под дубово-кленово-липовыми разнотравными малонарушенными лесами на дерновых оглеенных почвах. Далее чередуются деформируемые оползневыми процессами аллювиальные террасы: коренные (под дубовыми и кленово-липовыми разнотравными лесами на дерновых глееватых почвах) и техногенно выровненные (под кленовыми и липовыми лесами и березовыми искусственными насаждениями на урбоземах дерново-подзолистого типа). К набережной спускаются оползневые склоны, расчлененные поперечными эрозионными формами, под разнопородными разнотравными лесами на дерновых и дерновых глееватых почвах.

Урочища и их антропогенные модификации



Изменение статуса ООПТ. В 1987 г. Воробьевы горы были объявлены памятником природы геологического характера с уникальными формами рельефа, обнажениями и родниками. Однако полностью природоохранным статусом территория была наделена в 1998 г., когда Воробьевы горы получили статус природного заказника регионального значения с целью сохранения и восстановления уникального для столицы природного и историко-культурного комплекса²³. Постановлением тогда были обозначены такие задачи, как «сохранение и восстановление природных экосистем, растительного и животного мира, памятников истории и культуры, а также оптимизация рекреационного использования территории и создание благоприятных условий для допустимых видов повседневного отдыха горожан».

На территории была запрещена любая деятельность, противоречащая целям создания ООПТ: изъятие земельных участков, искажение исторически сложившегося охраняемого ландшафта, нарушение почвенного покрова и проведение работ, которые могут усилить оползневую активность, а также осуществление проектов, ведущих к снижению биологического разнообразия и нарушению естественных процессов развития природных экосистем и т.д. В границы ООПТ были включены несколько участков сторонних землепользователей, на которых запрещено новое капитальное строительство, за исключением объектов хозяйственного назначения. На предназначенных для отдыха участках было разрешено благоустройство и ограниченное новое строительство объектов, необходимых для содержания территории. Тогда заказник находился в подчинении Департамента природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы.

В 2010 г. Мосгордумой были внесены поправки в законопроект "Об особо охраняемых природных территориях в городе Москве", согласно которым в границах ООПТ, помимо физкультурно-оздоровительных, выделяются и спортивные зоны²⁴. Эта поправка сделала возможной реконструкцию вышедшего из эксплуатации трамплина на Воробьевых горах и открыло возможность дальнейшего использования территории в пределах участка стороннего землепользования²⁵.

В 2012 г. было объявлено, что территория природного заказника может быть передана в бессрочное пользование ЦПКиО им. М. Горького, но всего на один год ввиду отсутствия у

²³ Постановление Правительства Москвы от 21 июля 1998 г. № 564 О мерах по развитию территорий Природного комплекса Москвы [Электронный ресурс]. – URL: <https://gosthelp.ru/text/Postanovlenie564Omeraxpor.html> (дата обращения: 08.11.2021)

²⁴ Закон города Москвы от 10 февраля 2010 года N 5 «О внесении изменений в статьи 10 и 14 Закона города Москвы от 26 сентября 2001 года N 48 "Об особо охраняемых природных территориях в городе Москве" [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/394111/> (дата обращения: 07.07.2024)

²⁵ Трамплину на Воробьевых подправят формы / Вести.ру [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.krs-sro.ru/news/otrasl/1452/> (дата обращения: 07.07.2024)

природного заказника градостроительной документации и проектов планировки. К тому моменту Парку Горького уже были переданы участки вдоль Воробьевской и Андреевской набережной (всего 9 га)²⁶. В 2013 г. территория природного заказника была передана ЦПКиО им. М. Горького в безвозмездное пользование²⁷, при этом данные об экологической экспертизе, общественных слушаниях найти не удалось. Земли, имеющие природоохранное значение, были переданы под использование в культурно-просветительских, рекреационных, физкультурно-оздоровительных и спортивных целях, т.е. фактически был изменен статус территории.

К 2018 г. была сооружена новая канатная дорога, соединившая смотровую площадку Воробьевых гор с территорией спорткомплекса «Лужники», а уже в 2022–2024 г. завершилось строительство трех горнолыжных трасс, центра пляжных видов спорта, помещений Московской горнолыжной академии, кресельной канатной дороги и пр. Тогда же была введена в эксплуатацию восстановленная эскалаторная галерея. Ведется строительство спортивных школ, центра уличных видов спорта, экстрим-парка, веревочного парка, роллердрома, тюбинговой горки и т.д.²⁸ С 2018 г. в заказнике работает ландшафтное освещение, установленное с целью «подчеркивания природной красоты, повышения комфортности пешеходных пространств и превращения природного заказника в место притяжения москвичей и туристов»²⁹ и переданное в ведение Департамента топливно-энергетического хозяйства Москвы.

Таким образом, передача территории ООПТ в пользование ЦПКиО имени М. Горького в 2013 г. способствовала увеличению и без того высокой антропогенной нагрузки на природные системы заказника, дав «зеленый свет» масштабному строительству спортивного комплекса и иных сооружений, установке ландшафтного освещения, расширению дорог, прокладке коммуникаций и т.д.

Эстетическая характеристика ландшафтов. Одна из основных целей посещения природных территорий, в т.ч. и заказника «Воробьевы горы» – наслаждение эстетикой природы. Красивые пейзажи заказника способны вызывать у воспринимающих их людей положительные эмоции и удовлетворять их духовно-эстетические потребности, в то время как разрушенный, обезображенный ландшафт вызывает чувство расстроенности, неуравновешенности,

²⁶ «Воробьевы горы» передадут ЦПКиО на год / Информационный Центр Правительства Москвы [Электронный ресурс]. – URL: <https://icmos.ru/news/7642-vorobevy-gory-peredadut-cpkio-na-god> (дата обращения: 07.07.2024)

²⁷ Постановление Правительства Москвы от 1 июля 2013 г. N 423-ПП "Об оформлении земельно-имущественных отношений Государственному автономному учреждению культуры города Москвы "Центральный парк культуры и отдыха имени М. Горького" и о признании утратившими силу отдельных положений постановления Правительства Москвы от 19 июня 2012 г. N 293-ПП" (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/70411308/> (дата обращения: 07.07.2024)

²⁸ Спортивный комплекс «Воробьевы горы» / Градостроительный комплекс Москвы [Электронный ресурс]. – URL: <https://stroj.mos.ru/stadiony-moskvy/sportivnyi-kompleks-vorob-iev-ghory> (дата обращения: 07.07.2024)

²⁹ Задание на проектирование по «Разработка концепции и проектной документации ландшафтного освещения природного заказника «Воробьевы горы», 2017. 11 стр.

раздражения [Николаев, 2003; Дирин и др., 2010]. Ненарушенные природные ландшафты создают атмосферу безмятежности и тишины, которых часто не хватает жителям крупных городов, и положительно влияют на ментальное здоровье человека.

Для Воробьевых гор характерна высокая эстетическая привлекательность ландшафтов (см. раздел 4.3).

Культурное и сакральное наследие территории. Помимо выраженных эстетических достоинств природных ландшафтов, территория Воробьевых гор обладает культовым статусом в отечественной истории и культуре. Поэтически названная Александром I «короною Москвы», местность расположена в излучине р. Москвы, на склоне возвышенности, с которой открывается живописный вид на город. Это во многом послужило причиной богатой истории освоения этой территории – Воробьевы горы привлекали внимание царей и простых горожан, поэтов и живописцев.

Воробьевы горы изображены на полотнах Корнелия де Брюйна, В.Ф. Аммона, А.М. Васнецова, Г.П. Кондратенко, К.Ф. Юона (рис. 3.2.5–9), Иоганна Рауха, И.К. Айвазовского, А.И. Куинджи и др. В литературных произведениях Воробьевы горы являются значимым для сюжета элементом городского пространства. Под деревом на Воробьевых горах главный герой повести «Юность» Л.Н. Толстого «читает книги, рисует виды, играет на каком-нибудь инструменте», с вершины Воробьевых гор покидают Москву главные герои романа «Мастер и Маргарита» М.А. Булгакова, «в лесочке» на склонах проводят собрания революционеры в книге «Люди, годы, жизнь» И.Г. Эренбурга. С террасы ресторана Крынкина любитесь Москвой младшая сестра М.И. Цветаевой Анастасия: «...Медленно вверх по тропинке, в море кустов, – к той террасе крынкинского ресторана, где шипучка, грушевая и пирожные и откуда – сиянье высоты воздуха, и Москва вдали – россыпь жемчужин, и шелковым ручейком – блеск реки...» [Цветаева, 2002, с. 128]. В своих произведениях упоминают Воробьевы горы Н.М. Карамзин, М.Ю. Лермонтов, Ф.М. Достоевский, О.Э. Мандельштам, М.Н. Муравьев, М.Н. Загоскин, Ю.М. Нагибин, им посвящают свои стихотворения Б.Л. Пастернак, Г.В. Адамович, Е.А. Долматовский и др., а А.А. Блок пишет: «Даже Париж с Монмартра не то, что Москва с Воробьевых гор»³⁰. Е. Долматовский и Ю. Милютин посвятили этому месту Москвы свои песенные произведения.

³⁰ Блок А.А. – матери, 4 сентября <н. ст> 1911. Париж.



Рис. 3.2.5. Корнелий де Брюйн. «Панорама города Москвы с Воробьевых гор», 1701



Рис. 3.2.6. Аммон В.Ф. «Вид Москвы с Воробьевых гор», 1856



Рис. 3.2.7. Васнецов А.М. «У Воробьевых гор», 1879



Рис. 3.2.8. Кондратенко Г.П. «Вид Москвы с Воробьевых гор», 1885

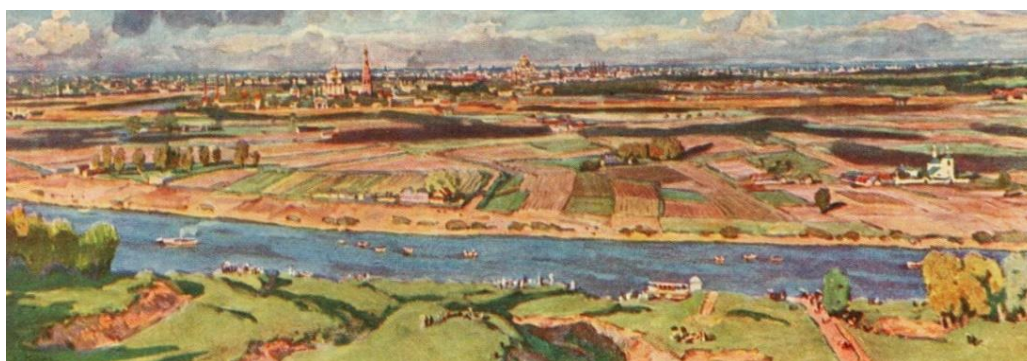


Рис. 3.2.9. Юон К.Ф. «Вид на Москву с Воробьевых гор», 1910

Рис. 3.2.5–9. Воробьевы горы в полотнах русских и зарубежных художников. Источник:

<https://pastvu.com/>

Однако Воробьевы горы – знаковое место не только для литераторов, живописцев, композиторов. В 1812 г. в храме Живоначальной Троицы на Воробьевых горах молился М.И. Кутузов накануне знаменитого совета в Филях, а в 1826 г. на вершине Воробьевых гор два публициста-революционера, А.И. Герцен и Н.П. Огарев, дали клятву посвятить свои жизни борьбе с самодержавием. На месте их клятвы в 1978 г. был установлен памятник-стела.

Всё это наделяет Воробьевы горы статусом культурно-исторического и даже сакрального пространства, подкрепленного литературными образами и событиями прошлого, сохранившимися в исторической памяти многих поколений. Эти образы и события, вместе с эстетическими свойствами природных ландшафтов, лежат в основе формирования туристической и рекреационной деятельности на территории заказника, что подтверждается содержанием проводимых там экскурсий³¹.

Рекреационная нагрузка. Точное число посетителей природного заказника неизвестно, т.к. вход в заказник свободный. Известно примерное число посетителей Воробьевых гор по состоянию на 2009 г. – 2 млн чел. [Ерохин, 2020]. Однако в 2009 г. территория заказника еще не подверглась масштабному благоустройству, а из спортивных объектов действовал один лишь трамплин. Как было упомянуто ранее, в настоящее время рекреационная привлекательность заказника значительно возросла ввиду ввода в эксплуатацию спортивного комплекса, эскалаторной галереи, канатной дороги, ремонта детских и спортивных площадок и общих работ по благоустройству территории.

Известно, что за первые три года работы канатная дорога перевезла более 3,5 млн пассажиров³², т.е. примерно по 1,1 млн чел в год, а пропускная способность горнолыжных трасс спорткомплекса равна 6 тыс. чел. в день³³, что за зимний сезон (с учетом искусственного оснежения склонов) дает примерно 900 тыс. посетителей. Уже на основании этих цифр можно предположить, что число посетителей самого заказника, вероятно, может, как минимум, в два раза превышать значение 2009 г. и достигать 4–5 млн чел. С другой стороны, очевидно, что это количество посетителей распределяется по территории заказника не равномерно, а циркулирует преимущественно между двумя крупнейшими точками притяжения на Воробьевых горах – станцией метро «Воробьевы горы» и смотровой площадкой, между которыми и располагается спортивный комплекс. Число посетителей к западу от спорткомплекса и к востоку от метромоста, по собственным наблюдениям автора, многократно ниже, чем на упомянутом участке. Также

³¹ По данным с туристического сайта <https://experience.tripster.ru>

³² Московская канатная дорога перевезла более 3,5 млн пассажиров за три года. ТАСС [Электронный ресурс]. – URL: <https://tass.ru/ekonomika/13012391> (дата обращения: 03.04.2024)

³³ Спортивный комплекс «Воробьевы горы». Градостроительный комплекс Москвы [Электронный ресурс]. – URL: <https://stroj.mos.ru/stadiony-moskvy/sportivnyi-kompleks-vorob-iev-ghory> (дата обращения: 03.04.2024)

оценочно, по собственным наблюдениям, можно охарактеризовать долю посетителей заказника в разное время суток – после захода Солнца число посетителей в заказнике резко снижается, большая их часть перемещается на набережную. В темное время суток зимой число посетителей заказника резко уменьшается по сравнению с темным временем суток летом, сосредотачивается вдоль освещенных лыжных трасс.

Оценочно рассчитаем рекреационную нагрузку на территорию заказника. При приблизительном числе посетителей в 4 млн чел. в год на 1 м² заказника получим 4,7 чел. (при площади заказника без учета территорий сторонних землепользователей равной 84,65 га).

Современная структура землепользования и антропогенное воздействие на экосистемы. Структура землепользования в природном заказнике «Воробьевы горы» представлена на рис. 3.2.10. Прежде рассмотрим территории сторонних землепользователей. Участки правительственных резиденций на ул. Косыгина лишились большей части древесного покрова еще на этапе их сооружения в конце 1950 гг., в то время как парковый комплекс дачи Дмитриева-Мамонова (ныне Институт химической физики РАН) и территория Института физических проблем РАН сохранили большую часть растительности, получили статус культурно значимых объектов и в наименьшей степени испытали антропогенное воздействие. Территория Андреевского монастыря является памятником культурного наследия федерального значения. Эти территории занимают 24% площади Воробьевых гор. Крупнейшим же антропогенным объектом (14% площади заказника) является спортивный комплекс «Воробьевы горы».

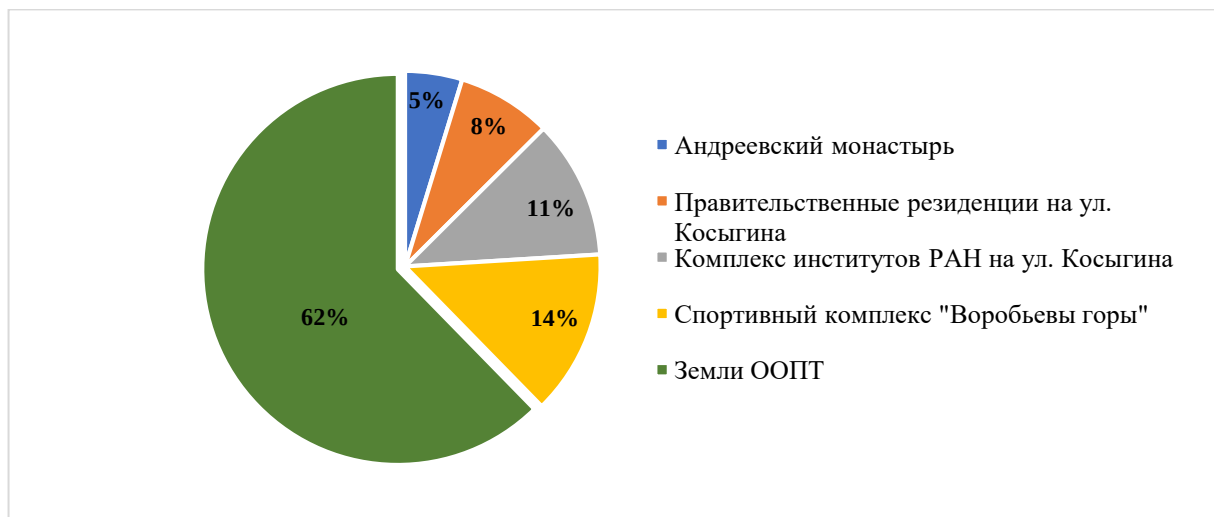


Рис. 3.2.10. Структура землепользования в природном заказнике «Воробьевы горы». Составлено автором.

Анализ динамики использования территории позволяет выявить два периода коренной трансформации ландшафтов на этом участке (рис. 3.2.11). Первый произошел в 1950-х гг., когда

при благоустройстве парка и строительстве Лужнецкого метромоста рельеф территории был преобразован путем подрезки и выполаживания склонов и формированию насыпных гряд, что привело к уничтожению большей части исходного почвенно-растительного покрова [Парамонова и др., 2010]. Это видно на аэрофотоснимке 1980 г. – по сравнению с 1942-м г. площадь растительного покрова заметно сократилась, а дорожно-тропиночная сеть – разрослась. Вторая трансформация произошла в 2018–2022 г. и характеризовалась высокой интенсивностью вырубки. Территория спортивного комплекса занимает около 15,8 га (11% площади Воробьевых гор), из которых древесный покров покрывает всего 3,3 га. В 1996 г. площадь древесного покрова была более чем в 2 раза больше (7,0 га).

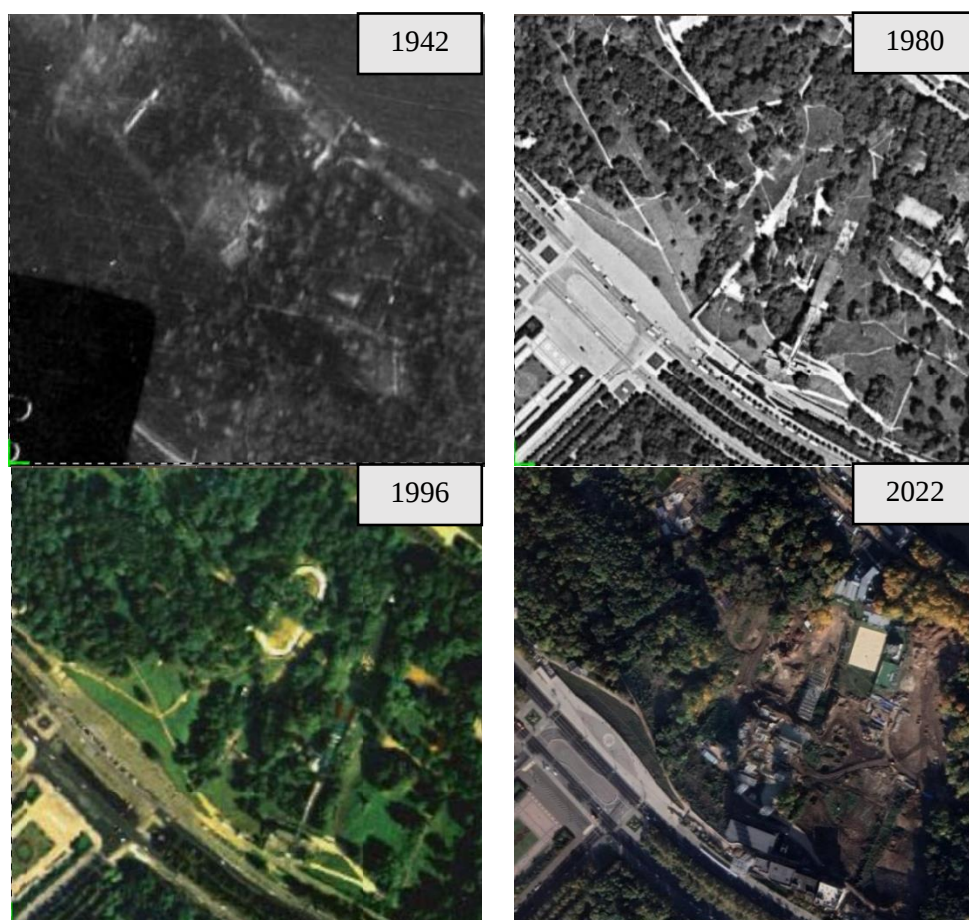
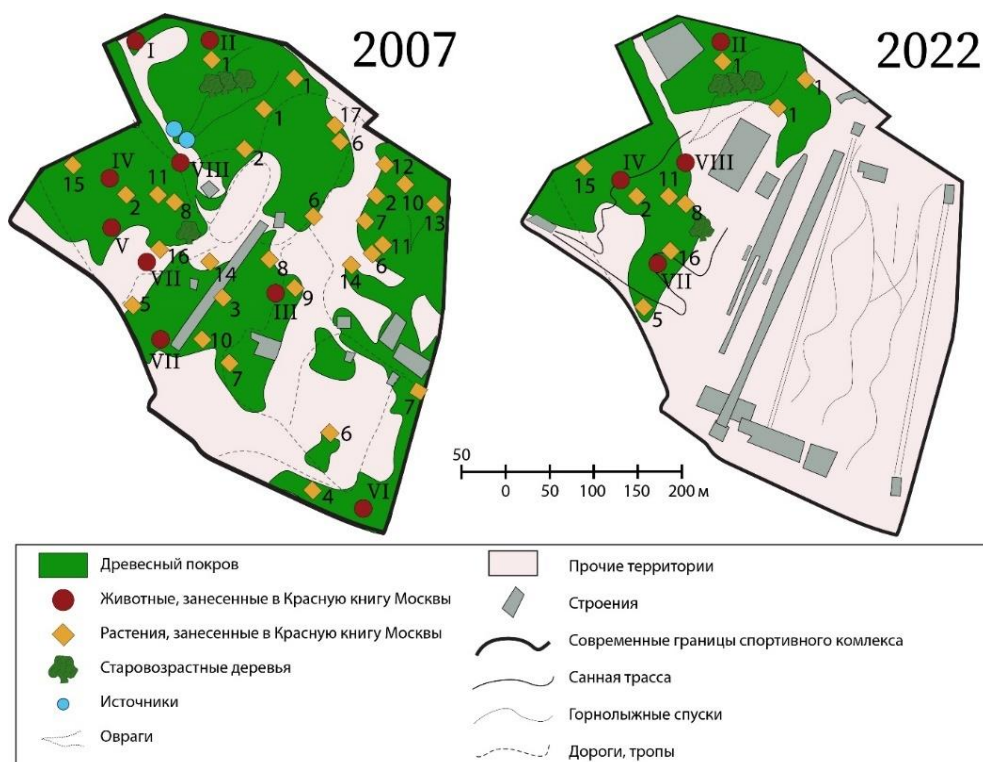


Рис. 3.2.11. Динамика антропогенных изменений на территории спортивного комплекса «Воробьевы горы». Источник: <http://retromap.ru>

Если старый трамплин и канатная дорога с момента сооружения в 1953 г. со временем стали вписываться в природный ландшафт благодаря появлению вторичного древесно-кустарникового покрова, то сооружение нового спортивного комплекса потребовало большего обнажения склона и сопровождалось уничтожением многих мест обитаний растений и животных, внесенных в Красную книгу Москвы.

Сравнение мест обитаний видов растений и животных, населявших участок спорткомплекса ранее, с современной ситуацией позволяет определить масштаб деградации экосистем (рис. 3.2.12). Вероятно, исчезнувшими в ходе строительства являются следующие виды, внесенные в Красную книгу Москвы: 8 видов растений (фиалка холмовая, фиалка душистая, колокольчик раскидистый, сивец луговой, воронец колосистый, астрагал датский, дремлик широколистный, горицвет кукушкин) и 4 вида животных (европейский крот, снегирь, деряба, малый пестрый дятел). Примерно такое же количество видов находится под угрозой исчезновения при дальнейшем строительстве на территории.



Виды растений Красной книги Москвы: 1 – хохлатка плотная; 2 – фиалка собачья; 3 – фиалка холмовая; 4 – фиалка душистая; 5 – зверобой волосистый; 6 – нивяник обыкновенный; 7 – колокольчик раскидистый; 8 – колокольчик рапунцелевидный; 9 – сивец луговой; 10 – воронец колосистый; 11 – ландыш майский; 12 – астрагал датский; 13 – дремлик широколистный; 14 – горицвет кукушкин; 15 – гусиный лук желтый; 16 – земляника зеленая; 17 – короставник полевой.

Виды животных Красной книги Москвы: I – европейский крот; II – пеночка-теньковка; III – снегирь; IV – вальдшнеп; V – малый пестрый дятел; VI – деряба; VII – дубонос; VIII – зеленая пеночка.

Рис. 3.2.12. Объекты природного наследия и антропогенного воздействия на территории спортивного комплекса «Воробьевы горы» по состоянию на 2007 и 2022 гг. Составлено автором по данным [Экологический атлас..., 2017].

Новый спортивный комплекс оказывает негативное воздействие на экосистемы не только в пределах своих границ, но и влияет на окружающие экосистемы. Одним из видов такого воздействия является световое загрязнение – предмет настоящего исследования.

Прочими антропогенными объектами в природном заказнике являются различные строения, часть из которых были сооружены еще в 1950–1960 гг., как например, здание поисково-спасательной станции МЧС «Ленинские горы» на Воробьевской набережной, площадка для мини-футбола, эскалаторная галерея (до вывода из эксплуатации в 1988 г.) и несколько нежилых зданий с неустановленным статусом. На территории заказника присутствуют и иные антропогенные объекты: точки быстрого питания, обновленные детские и спортивные площадки, а также пикниковые беседки близ прудов. Все эти сооружения оказывают незначительное воздействие на природный ландшафт и скорее являются источниками локального визуального загрязнения (нарушение эстетики природных пейзажей).

Рекреационное использование территории привело к усилению типичного для городских ООПТ антропогенного воздействия – вытаптыванию наземного растительного покрова и замусориванию территории. Несмотря на наличие развитой дорожно-тропиночной сети и экологических троп, многие посетители заказника предпочитают спускаться по крутым склонам и создавать стихийные тропы, нанося вред растительному покрову, усиливая эрозионный смыв почв. Часть склонов к западу от спортивного комплекса пересечена велосипедными трассами, растительный покров вдоль которых уже деградировал.

Рассмотренные антропогенные трансформации нашли отображение на рис. 3.1.13, на котором отображены в том числе и опоры ландшафтного освещения как объекты визуального загрязнения, ареал распространения световых потоков от ландшафтного освещения.

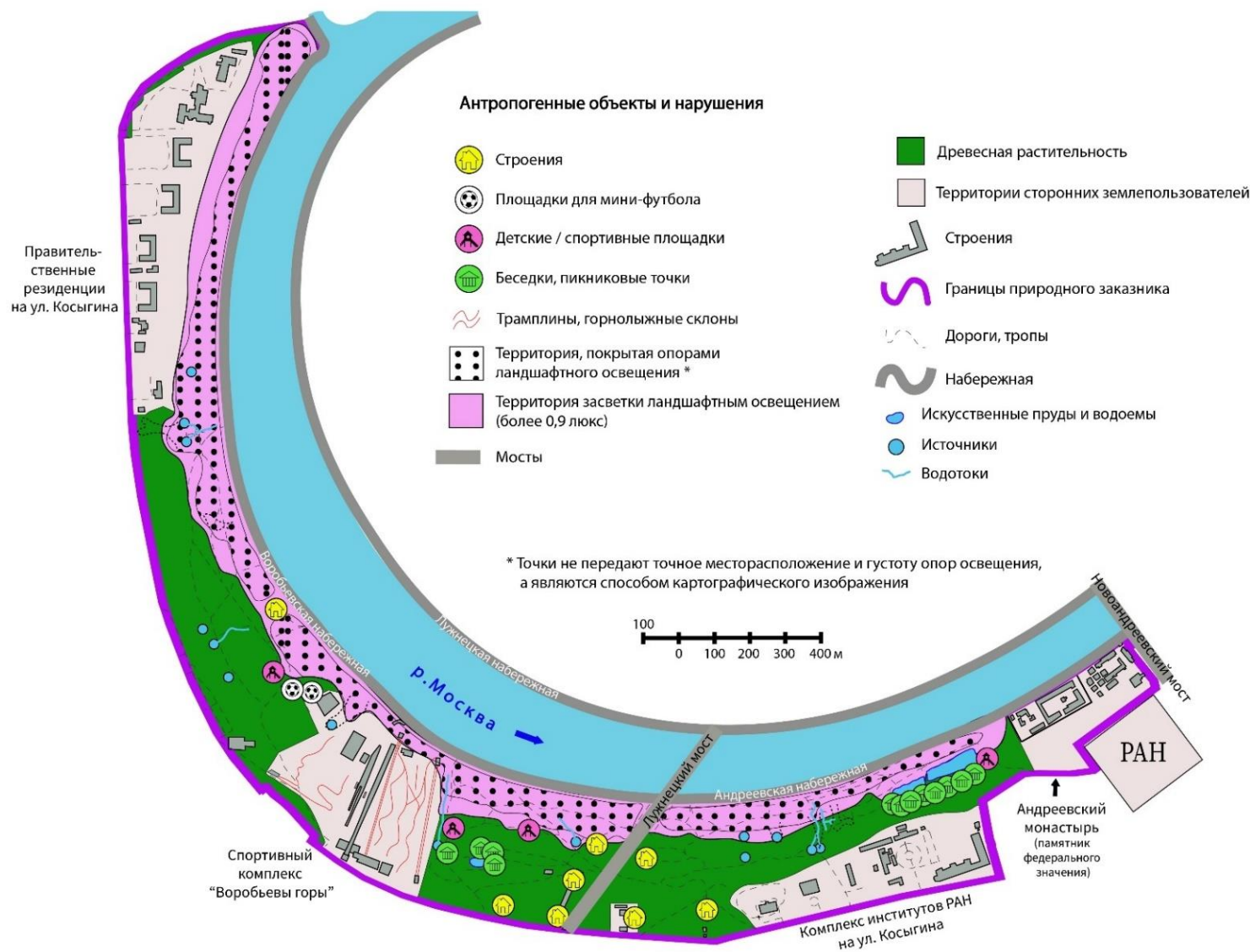


Рис. 3.1.13. Антропогенные объекты в природном заказнике «Воробьевы горы»

3.3. Характеристика искусственного освещения в природном заказнике «Воробьевы горы»

Фоновое значение освещенности. Прежде чем охарактеризовать световое загрязнение, связанное с ночным искусственным освещением в природном заказнике, необходимо выяснить, какое освещение в ночное время можно считать фоновым. Для этого на участках, удаленных от источников искусственного освещения, в наименее посещаемых частях заказника можно инструментально замерить значение освещенности.

Важно понимать, что постоянного фонового значения в заказнике нет. Фоновое значение будет различаться в зависимости от метеорологических условий, фактора сомкнутости крон или характера подстилающей поверхности того или иного участка. Так, значительная или сплошная облачность, туманы и увеличение концентрации аэрозолей в воздухе способствует рассеянию городских огней в атмосфере и осветлению неба, что увеличивает среднюю освещенность даже в самых удаленных участках заказника [Cinzano et al., 2015] (рис. 3.3.1). Снежный покров отражает свет, исходящий от осветленного неба, что также увеличивает освещенность. Наличие листвы на деревьях и высокая сомкнутость крон даже при осветленном небе не пропускает под полог леса рассеянный в атмосфере свет, в результате чего в заказнике наблюдаются меньшие значения освещенности. Еще одним важным фактором является лунный свет, увеличивающий уровень освещенности на открытых участках заказника.

Таким образом, в зависимости от облачности и сезона года в природном заказнике «Воробьевы горы» было установлено несколько фоновых значений (табл. 3.3.1).

Табл. 3.3.1. Фоновые значения освещенности в заказнике «Воробьевы горы»

	Безоблачная погода	Облачная погода
Январь	0,4–0,5 лк	0,9 лк
Июль	0,1–0,2 лк	0,3 лк

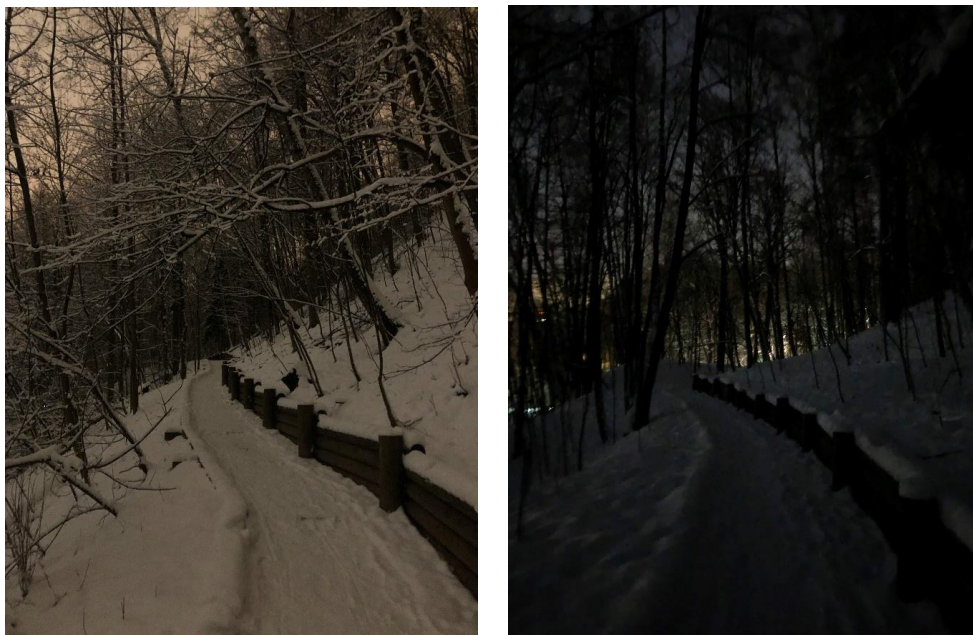


Рис. 3.3.1. Освещенность на фоновом участке в заказнике «Воробьевы горы» в условиях: *слева* – облачной (05.12.2021); *справа* – безоблачной (09.12.2021) погоды. Фото автора.

Природный заказник расположен практически в центре города, под его световым куполом, поэтому даже при наилучших метеорологических условиях самое минимальное фоновое значение освещенности в городской ООПТ (0,1 лк) будет несравнимо больше, чем истинное фоновое значение – то, которое могло бы быть зафиксировано вдали от урбанизированных территорий, на расстоянии десятков и сотен километров от какого-либо источника освещения (0,0005 лк).

В настоящем исследовании в качестве фонового значения будет использоваться максимальное из возможных на территории природного заказника – 0,9 лк, поскольку даже при полном решении проблемы светового загрязнения в заказнике именно этот уровень освещенности будет фиксироваться на территории заказника. Уровень освещенности во всяком случае не должен превышать это значение для сохранения режима ООПТ.

Почти четырехкратная разница фоновых значений в зависимости от сезона года делает невозможной введение поправки на снежный покров. Однако при инструментальных измерениях в пределах одного сезона года, когда могут изменяться лишь метеорологические условия, разработка поправочных коэффициентов является целесообразной. Так, теоретически возможна разработка поправки на относительную влажность воздуха, т.к. во время тумана освещенность возрастет, или на облачность. Разработка таких поправочных коэффициентов, тем не менее, пока не является предметом настоящего исследования.

Охарактеризуем два вида искусственного освещения в природном заказнике «Воробьевы горы»: уличное и ландшафтное.

Уличное освещение формируют фонари, установленные вдоль почти всей заложённой дорожно-тропиночной сети заказника. Уличное освещение заказника отличается разнообразием, несвойственным другим ООПТ и паркам города – дороги и тропинки освещаются двумя типами фонарей на разных опорах освещения, причем системы освещения могут различаться даже вдоль одной тропы. Асфальтированные дороги освещаются натриевыми лампами высокого давления (НЛВД) на 4- и 12-метровых опорах и светодиодными лампами на 4-метровых опорах, а грунтовые тропы освещаются преимущественно светодиодными лампами на 4-метровых опорах (рис. 3.3.2).



Фонарь с НЛВД



Светодиодный фонарь

Рис. 3.3.2. Виды уличного освещения в заказнике «Воробьевы горы». Фото автора.

НЛВД излучают монохромный желтый свет, близкий к солнечному и хорошо поглощающийся растениями, в то время как светодиодные фонари излучают яркий белый свет. Уровень освещенности под НЛВД составляет 9–20 лк (в зависимости от высоты фонаря), а под светодиодными фонарями уровень освещенности достигает 120–145 лк. Лампы уличного освещения светят вниз, поэтому освещаются только дорожки и прилегающие к ним территории. Расстояния между опорами фиксированные – около 10 м. Равные расстояния между опорами в условиях сильной расчлененности рельефа являются причиной усугубления проблемы светового загрязнения на некоторых участках заказника. Например, если освещаемая тропинка проходит по бровке оврага, свет фонаря может целиком освещать его дно, в разы увеличивая площадь засветки. Эта проблема могла бы быть решена путем изменения расстояния между фонарями в зависимости от особенностей рельефа либо путем экранирования фонарей и недопущения проникновения световых потоков на участки, не требующих освещения.

Ландшафтное освещение, как и уличное, может выполнять социально значимую роль, обеспечивая безопасность и комфортность среды, однако наличие его на территории ООПТ нельзя назвать целесообразным. Основная функция ландшафтного освещения, в отличие от уличного – повышение эстетичности ландшафтов (рис. 3.3.3).

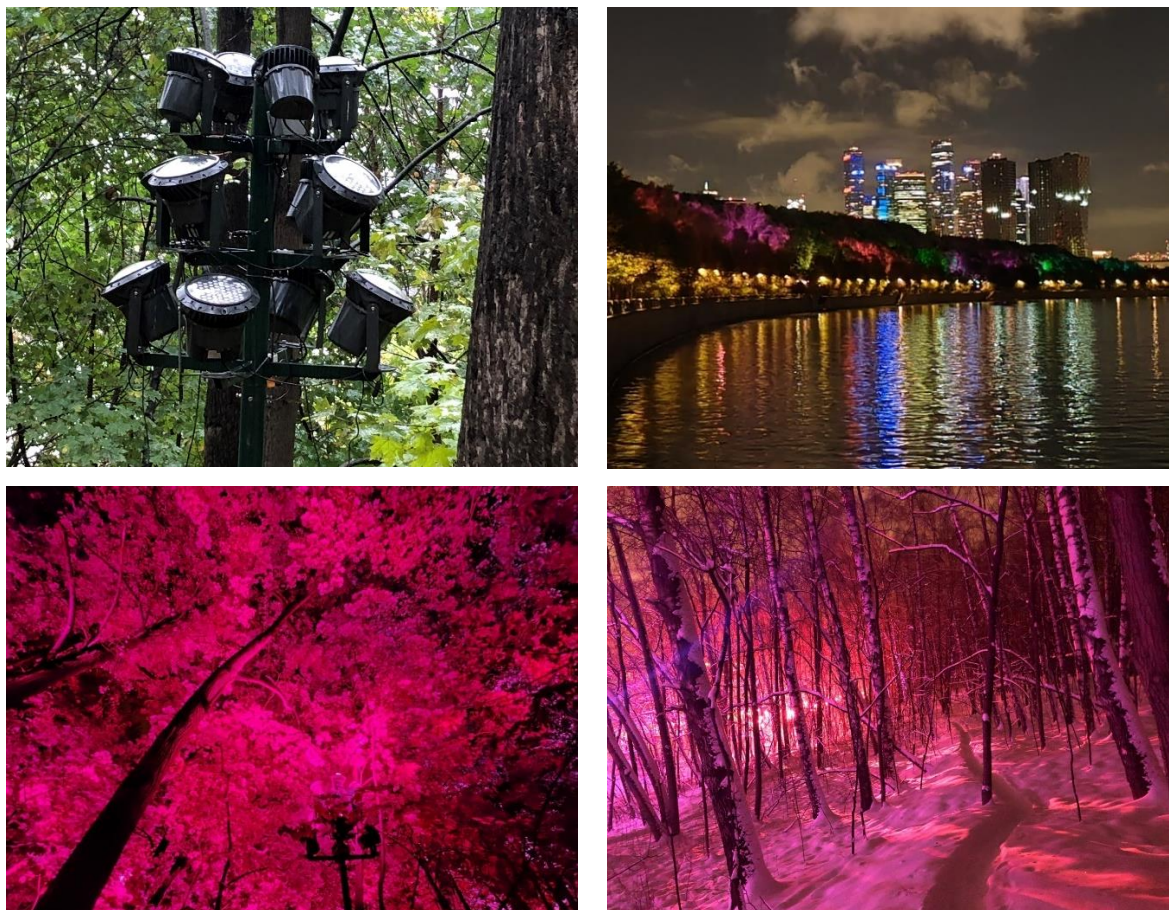


Рис. 3.3.3. Ландшафтное освещение в природном заказнике «Воробьевы горы». Фото автора.

Ландшафтное освещение было установлено в природном заказнике в 2018 г. с целью «подчеркнуть ценность природного заказника как знакового элемента природного каркаса Москвы»³⁴. Всего на территории заказника размещено 1000 опор ландшафтного освещения. Опоры расположены на среднем расстоянии 10 м друг от друга и установлены в 3–5 рядов по нижнему ярусу склона вдоль набережной, включая заповедные и заболоченные участки, балки и долины ручьев. На каждой опоре установлены 3 крестообразные балки по 30–40 см, на каждой из которых закреплено по 4 прожектора (всего 12 прожекторов на опоре). Прожекторы направлены вверх под углом 45–60°. Мощность каждого LED-светодиодного прожектора

³⁴ Проект ландшафтной подсветки разработают для Бульварного кольца и Воробьевых гор. ICMOS : сайт. URL: <https://icmos.ru/news/46036-proekt-landshaftnoy-podsvetki-razrabotayut-dlya-bulvarnogo-koltsa-i-vorobevykh-gor> (Дата обращения 03.02.2023).

составляет 163 Вт, что сравнимо с мощностью прожекторов для концертных залов, складских и ангарных помещений.

Важной особенностью работы ландшафтного освещения является крайняя нестабильность режима работы в течение года. В ходе наблюдения за ним с 2021 г. было зафиксировано несколько режимов: исключительно по выходным дням и по праздникам, исключительно в летний период, исключительно в зимний период, в течение отдельных сезонов года и пр. Так, в ходе последних наблюдений в 2023–2024 гг. было выявлено, что ландшафтное освещение функционирует следующим образом:

- Май 2023 г. – октябрь 2023 г. – работало ежедневно до полуночи;
- Ноябрь 2023 г. – апрель 2024 г. – работало ежедневно и круглосуточно;
- Май 2024 г. – август 2024 г. – не работало вовсе;
- С августа 2024 г. – работает ежедневно до полуночи.

Такая непостоянность режима работы осложняет оценку светового загрязнения. Однако в целом ландшафтное освещение включается через 15 минут после захода Солнца и работает до полуночи.

Ландшафтное освещение формирует не монохроматический свет, а реализует запрограммированный цветоцветовой сценарий, т.е. последовательную смену цветов светового потока. Длительность сценария составляет 11 секунд, по ходу которого последовательно сменяются красный, желтый, зеленый, синий и розовый цвета (рис. 3.3.4).

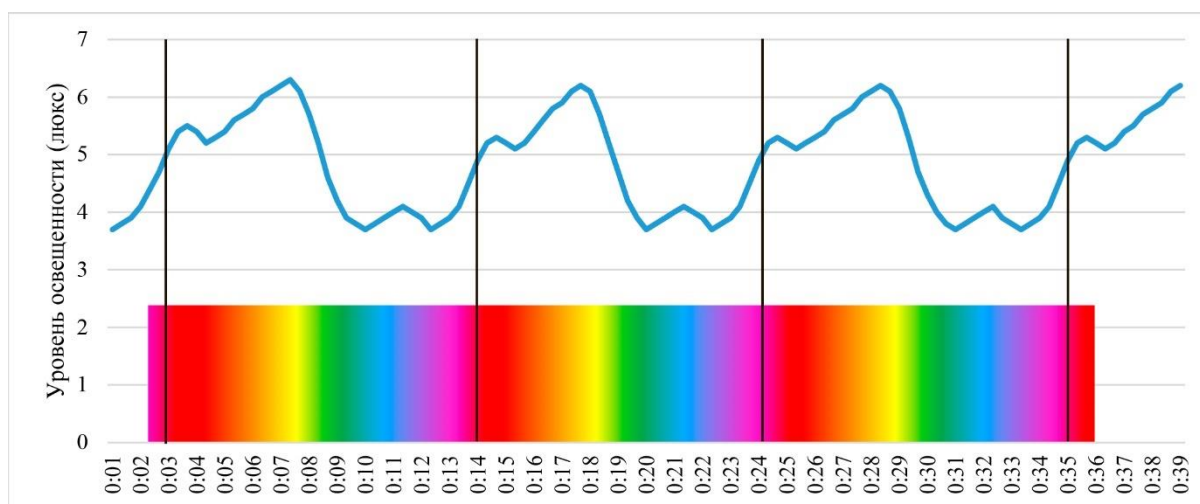


Рис. 3.3.4. Светоцветовой сценарий ландшафтного освещения в природном заказнике «Воробьевы горы». Замеры между двумя опорами освещения на уровне человеческого роста.

Составлено автором.

Инструментальные измерения уровня освещенности на уровне человеческого роста между двумя опорами ландшафтного освещения, проведенные в зимний период 2021 г., показали, что за 11-секундный цикл наибольшее значение освещенности (6,2 лк) соответствует оранжевому монохроматическому свету, а наименьшее значение достигается при освещении синим цветом (3,7 лк). Проведение на уровне человеческого роста инструментальных измерений освещенности от световых потоков, направленных в кроны деревьев, очевидно, менее значимо, но необходимо для понимания энергетического содержания освещенности прожекторов. Поэтому в 2023 г. были проведены измерения уровня освещенности непосредственно в световом потоке (табл. 3.3.2) – в одном метре от прожектора уровень освещенности превысил 18 тыс. лк, что сравнимо с уровнем освещенности в пасмурный летний день. Важно понимать, что многие прожекторы находятся непосредственно внутри крон деревьев или в близости от них.

Табл. 3.3.2. Зависимость уровня освещенности от расстояния до прожектора

Расстояние от прожектора, м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
Освещенность, лк	18430	9450	5800	2350	1100	405	260	157	82	34	12,1
Значения освещенности в некоторых типичных случаях (лк) в качестве примера для сравнения. Источник: [Ландсберг, 2009]											
<i>Под прямыми солнечными лучами в полдень (средние широты)</i>										100000	
<i>Пасмурный летний день</i>										25000	
<i>Солнечный зимний день</i>										10000	
<i>Пасмурный зимний день</i>										5000	
<i>Футбольное поле</i>										1200	
<i>Восход и заход Солнца в ясную погоду</i>										1000	
<i>Светлая комната вблизи окна</i>										800	
<i>Рабочий стол для тонких работ</i>										100–200	
<i>Экран кинотеатра</i>										80–120	
<i>Комфортное чтение</i>										30–50	
<i>В море на глубине 50 м</i>										до 20	
<i>Полнолуние в ясную ночь</i>										0,2	
<i>Ночное звездное небо в безлунную ночь</i>										0,0003	

В настоящем исследовании мы анализируем преимущественно ландшафтное освещение, т.к. уличное освещение формирует световой поток, направленный вниз, на дорожно-тропиночную сеть, а уровень освещенности и мощность его установок невелики. Более того, работа уличного освещения вдоль дорог и тропинок в природном заказнике обусловлена необходимостью создания комфортной и безопасной среды для горожан, в то время как ландшафтное освещение направлено лишь на «корректировку» природной среды с целью «повышения» ее эстетичности.

3.4. Особенности инструментальных измерений светового загрязнения в природном заказнике «Воробьевы горы»

Инструментальные измерения уровня освещенности в природном заказнике «Воробьевы горы» проводились с помощью люксметра СЕМ DT-1301 (номинальная частота измерений 1,5 раза в секунду, разрешение 0,1 лк) в ночное время (с 22:00 до 03:00) в конце вегетационного периода в 2021 г. при различных метеорологических условиях и фазах Луны. Всего было выполнено 703 измерения (рис. 3.4.1). При этом контрольные замеры выборочно проводились в течение всего периода наблюдений для выявления временных вариаций.

Измерения проводились в среднем через каждые 15–20 м, однако шаг измерений иногда изменялся в зависимости от таких факторов, как доступность участка, особенности рельефа или ландшафтной структуры. К примеру, на участках с пересеченным рельефом проводилось гораздо больше измерений, чем на равнинных открытых участках с равномерным уровнем освещенности. В то же время на больших неосвещенных участках с неизменяющимся фоновым значением количество измерений было сведено к минимуму.

В табл. 3.4.1 охарактеризована плотность инструментальных измерений в соответствии с площадной структурой ландшафтных урочищ. В целом ландшафтные урочища были обеспечены инструментальными измерениями пропорционально занимаемой площади.

Табл. 3.4.1. Обеспеченность ландшафтных урочищ инструментальными измерениями

Урочище*	Типичность ландшафтного урочища на территории	Число и доля измерений	Урочище*	Типичность ландшафтного урочища на территории	Число и доля измерений
1а	2,52%	13 (1,8%)	5а	3,43%	34 (4,8%)
1б	1,48%	12 (1,7%)	5б	1,03%	7 (1,0%)
1в	3,68%	37 (5,3%)	5в	3,23%	24 (3,4%)
1г	5,3%	31 (4,4%)	5г	1,12%	16 (2,3%)
2а	14,94%	98 (13,9%)	5д	0,26%	4 (0,6%)
2б	2,05%	16 (2,3%)	6а	6,31%	24 (3,4%)
2в	3,41%	7 (1,0%)	6б	3,28%	38 (5,4%)
2г	1,06%	9 (1,3%)	6в	3,72%	25 (3,6%)
3а	3,61%	32 (4,6%)	6г	3,64%	8 (1,1%)
3б	2,19%	6 (0,9%)	6д	1,9%	19 (2,7%)
4а	5,19%	31 (4,4%)	6е	4,59%	24 (3,4%)
4б	6,92%	50 (7,1%)	6ж	3,38%	27 (3,8%)
4в	3,45%	40 (5,7%)	6з	1,18%	9 (1,3%)
* Обозначения урочищ – см. легенду ландшафтной карты			6и	2,66%	29 (4,1%)
			7а	4,47%	33 (4,7%)
			СУММА	100%	703 (100,0%)

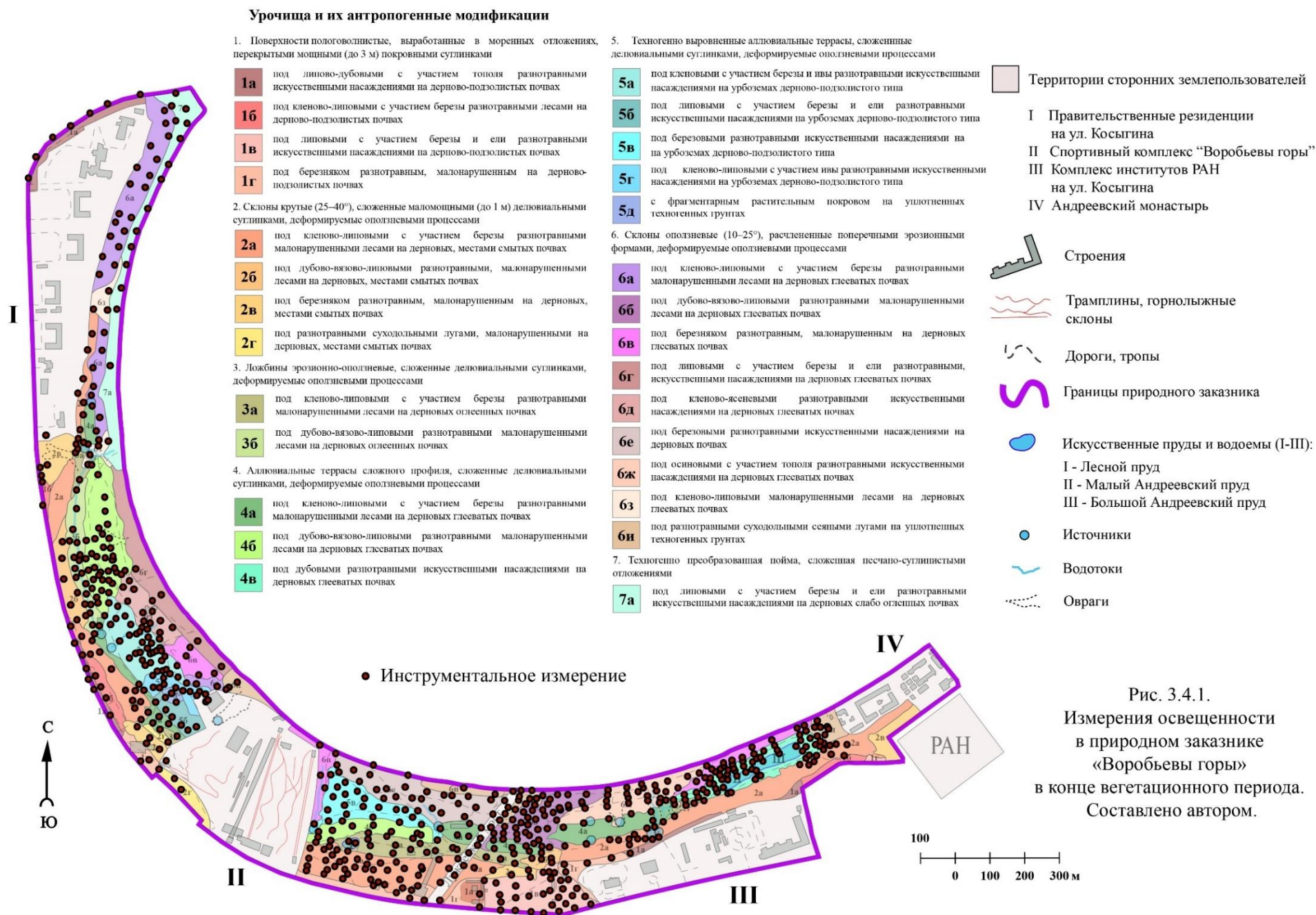


Рис. 3.4.1.
Измерения освещенности
в природном заказнике
«Воробьевы горы»
в конце вегетационного периода.
Составлено автором.

Рассмотрим пространственное распространение светового загрязнения (участков с уровнем освещенности более 0,9 лк) по территории ООПТ.

Прежде всего важно помнить, что освещенность на одной и той же территории в зимний и летний периоды будет неодинакова из-за отсутствия зимой листвы на деревьях и высокого альбедо снега, поэтому для более корректного отображения картины освещенности можно построить как минимум две карты уровня освещенности (для зимнего и летнего периода). Однако в начале вегетационного периода (апрель-май) и в его конце (октябрь-ноябрь) ареалы засветки могут видоизменяться ежедневно, т.к. площадь снежного покрова и количество листвы может непрерывно меняться. Вспомним также, что освещенность измеряется на уровне человеческого роста, следовательно, та площадь светового загрязнения, которая будет измерена на поверхности земли, гораздо меньше площади освещенности, которую можно было бы получить, проводя измерения на уровне крон. Таким образом, картографирование светового загрязнения является крайне сложной задачей, решение которой требует расширения исследования. Забегая вперед, отметим, что в последующих разделах мы анализируем возможное влияние светового загрязнения на различные экосистемные функции и эстетические свойства ландшафтов, приток дополнительной световой энергии в ландшафты и пр. И рассмотрение всех этих аспектов влияния света на ландшафт для разных сезонов года или даже месяцев непременно важно, однако требует непрерывных мониторинговых наблюдений, что в задачи нашего исследования не входило. Поэтому в нашей работе мы отображаем картину освещенности для зимнего периода, когда ее уровень в заказнике максимален.

Из 137,5 га площади всего заказника лишь 87,8 га относятся к собственно землям ООПТ. Уличное освещение охватывает 41,7 га (рис. 3.4.2), т.е. почти половину земель ООПТ, что связано с высокой плотностью дорожно-тропиночной сети и неравномерностью распределения световых потоков по территории (вышеприведенный пример, когда фонарь на бровке оврага освещает все его днище). Однако, как было упомянуто ранее, уличное освещение направлено вниз, следовательно, кроны деревьев во многом остаются в темноте.

Опоры ландшафтного освещения занимают площадь в 24 га и освещают 40,1 га территории. Однако суммировать площадь засветки от уличного и от ландшафтного освещения некорректно, т.к. ареал засветки от ландшафтного освещения частично перекрывает и без того освещенные уличными фонарями участки. Тогда общая площадь засветки возрастает с 41,7 до 59,9 га (рис. 3.4.3), т.е. лишь 32% территории ООПТ остается незатронутым световым загрязнением.

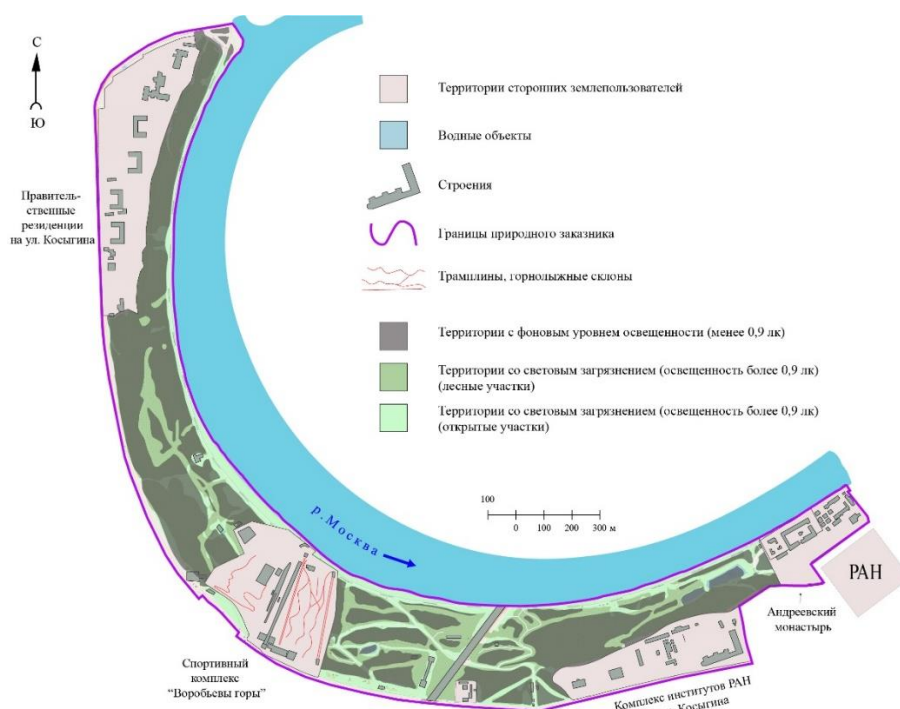


Рис. 3.4.2. Территории
природного заказника
«Воробьевы горы» с фоновым
уровнем освещенности (0,9 лк)
при работе уличного
освещения.

Составлено автором, в
подложке – OpenStreetMap.

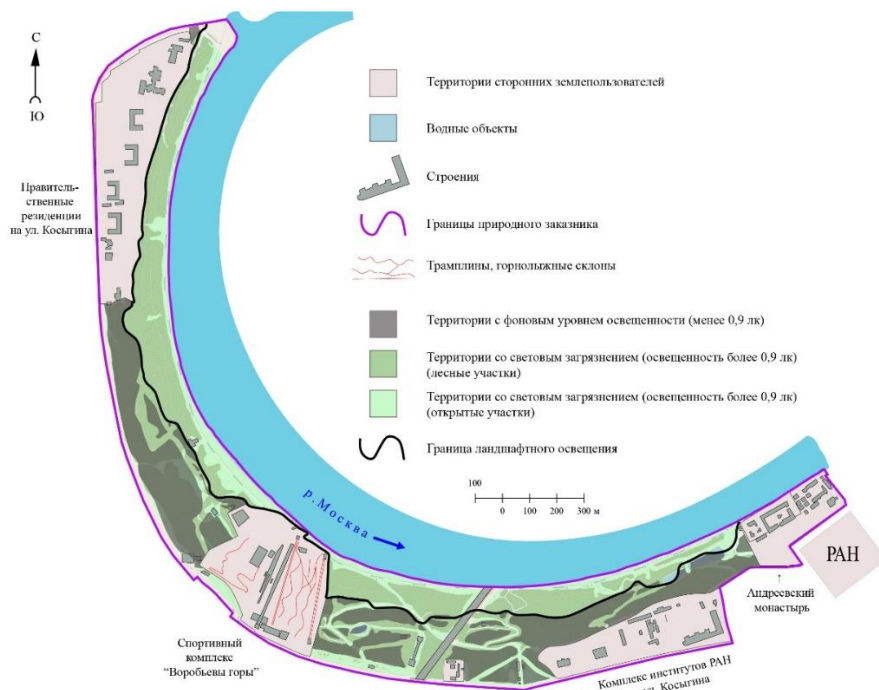


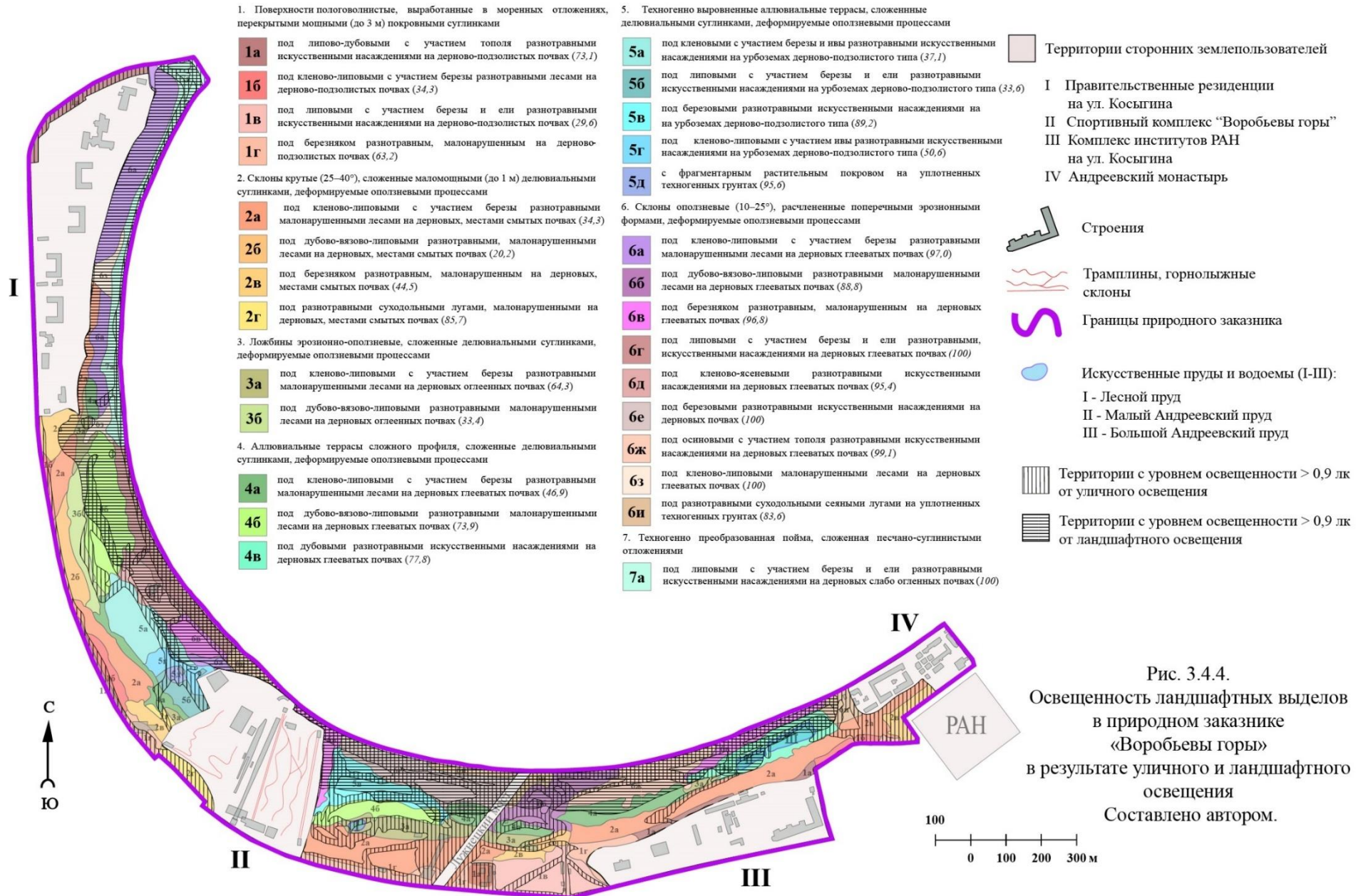
Рис. 3.4.3. Территории
природного заказника
«Воробьевы горы» с фоновым
уровнем освещения (0,9 лк)
при работе уличного и
ландшафтного освещения.

Составлено автором, в
подложке – OpenStreetMap.

На рис. 3.4.4 отображена освещенность каждого вида ландшафтных урочищ. Наименее освещенными являются крутые склоны под дубово-вязово-липовыми и кленово-липовыми разнотравными лесами – на них освещены «всего» 20–30% площади, причем большая часть световых потоков проникают туда от фонарей уличного освещения и с улицы Косыгина. Однако, чем ближе к набережной, тем выше освещенность: аллювиальные террасы освещены на 50–70%, примыкающие к набережной оползневые склоны и техногенно преобразованная пойма на 90–100%.

Урочища и их антропогенные модификации

(в скобках указана освещенность ландшафтного выдела, в %)



Глава 4. Влияние светового загрязнения на экосистемные функции природного заказника «Воробьевы горы»

4.1. Влияние светового загрязнения на приоритетные экосистемные функции природного заказника «Воробьевы горы»

Световое загрязнение может вызывать трансформацию экосистемных функций в ландшафтах городских ООПТ, постепенно приводя к утрате территориями природоохранного статуса. В связи с этим, на основании базы данных тематических публикаций возникает необходимость рассмотрения возможной трансформации экосистемных функций природного заказника «Воробьевы горы» в рамках настоящей работы. Заметим при этом, что данная проблема заслуживает постановки специальных исследований, что выходит за рамки настоящей работы, в которой мы обращаемся лишь к анализу возможной трансформации приоритетных функций.

Основываясь на опыте других исследований по приоритезации экосистемных функций ООПТ, опираясь на результаты полевого обследования заказника «Воробьевы горы», предложим перечень его приоритетных экосистемных функций [Тишков, 2010; Евсеев и др., 2022, Комарчев, Красовская, 2020] (табл. 4.1.1). Нет сомнения в том, что такое подразделение в известной мере условно, т.к. речь идёт о функционировании всей ландшафтной системы.

Табл. 4.1.1. Приоритетные экосистемные функции заказника «Воробьевы горы»

<i>Регулирующие</i>	<i>Поддерживающие</i>	<i>Культурные</i>
Фильтрация загрязненного воздуха и воды; снижение шумового загрязнения; регулирование микроклимата; защита от эрозии почв и оползней; регулирование стока; опыление	Депонирование углерода; создание чистой первичной продукции; поддержание биоразнообразия, включая формирование биотических рефигиумов ³⁵	Рекреационные; эстетические; образовательные; поддержание культурного наследия; формирование «чувства места» (локальной идентичности); гедонистические

Приведенные ниже описания не претендуют на полноту, а лишь отражают результаты рекогносцировочных исследований, которые необходимо расширить в рамках иного исследовательского проекта. Количественные характеристики, полученные при этом, будут использованы для оценочных эколого-экономических расчетов, без которых невозможно обоснование принятия необходимых управленческих решений для сохранения заказника.

³⁵ Термин А.А. Тишкова [2010]

Влияние на регулирующие экосистемные функции.

Фильтрация загрязненного воздуха. Очистка атмосферного воздуха в природном заказнике происходит в зоне зеленых насаждений, защищающих заказник от ул. Косыгина – основного линейного источника загрязнения (рис. 4.1.1), и непосредственно лесными насаждениями заказника, фильтрующими аэротехногенные загрязнители.



Рис. 4.1.1. Зеленые насаждения вдоль ул. Косыгина. Фото автора.

Зеленые насаждения вдоль ул. Косыгина представлены такими видами, как липа сердцевидная, клен остролистный, вяз гладкий, рябина обыкновенная, карагана древовидная, со средней высотой деревьев 15 м, кустарников – до 2 м. Эти насаждения вытянуты вдоль ул. Косыгина на 1000 м. Необходимо отметить, что перечисленные виды выделяются высокой пылеулавливающей способностью, а побеги липы сердцевидной и рябины обыкновенной отличаются высокими значениями адсорбции азота и серы [Чернышенко, 2018].

Известно, что один гектар широколиственного леса может улавливать до 200 кг пыли за вегетационный период (см. раздел 2.3), следовательно, древесный покров заказника может улавливать до 16,9 т пыли. Помним, что продолжительность вегетационного периода в условиях светового загрязнения может возрасть в среднем на 2–5 недель, что позволяет растениям дольше сохранять фильтрационные функции. Примем условную среднюю продолжительность вегетационного периода в Москве за 150 дней [Лукиянов и др., 2024], тогда за день весь лесной массив заказника будет улавливать в среднем около 115 кг взвешенных частиц. Следовательно, увеличение продолжительности вегетационного периода на 2–5 недель приведет к повышению этого объема примерно на 1,5–4 т (прирост – от 9,4 до 23,3%).

Снижение шумового загрязнения. В заказнике наблюдается повышенный уровень шумового загрязнения, несмотря на то что в нем произрастают наиболее шумопоглощающие породы из известных: клен остролистный, тополь бальзамический, липа сердцевидная и др. [Осин, 1962; Горохов, 1991]. Близ и на территории природного заказника существуют различные источники шумового загрязнения: ул. Косыгина, Лужнецкий метромост, спортивный комплекс «Воробьевы горы», проходящие по реке суда, а также источники с левого берега р. Москвы (спортивные площадки, стадион «Лужники» и т.п.), поэтому уровни шума на территории заказника различаются. Рекогносцировочные инструментальные измерения, проведенные с помощью шумомера МЕГЕОН 92130, в летне-осенний период показали (рис. 4.1.2), что уровень шума на ул. Косыгина составляет около 80–85 дБ, за зелеными насаждениями в 10–20 м от проезжей части он уменьшается до 70 дБ. Ниже по склону Воробьевых гор уровень шума снижается до фоновых значений (42–44 дБ), чему способствует и влияние рельефа на прохождение звуковых волн. Шумовое загрязнение от границы спортивного комплекса распространяется на расстоянии до 50–70 м вглубь природной территории, затем затухает. Звук механизмов подъемников составляет около 50 дБ, музыка с горнолыжных спусков — до 55 дБ, а звук голосовых оповещений достигает 65 дБ. Уровень шумового загрязнения около метромоста составляет 60 дБ, однако быстро снижается при удалении вглубь леса.

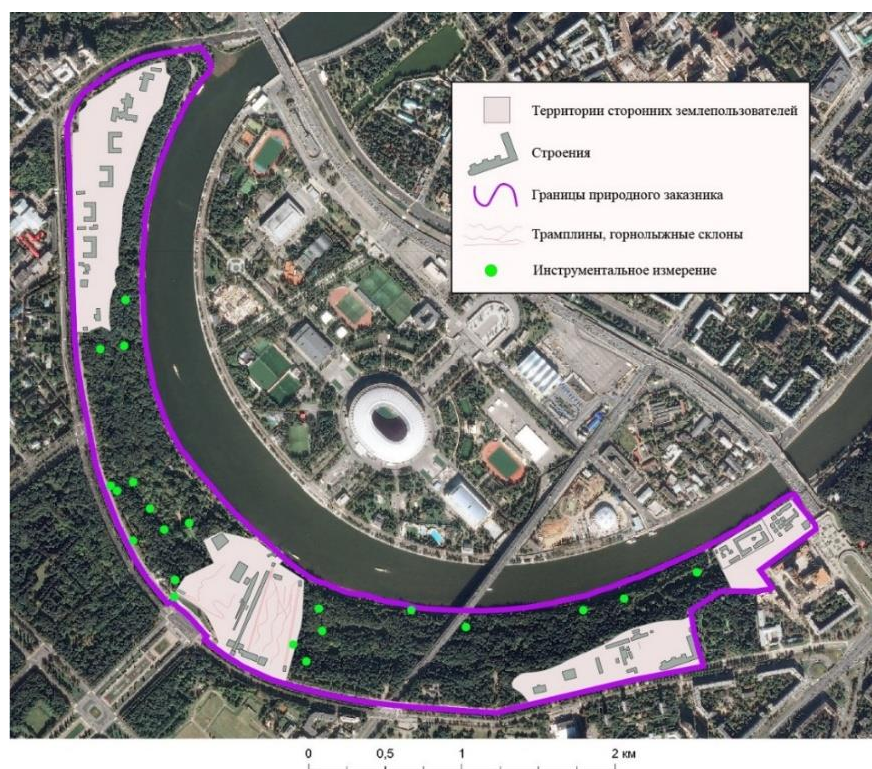


Рис. 4.1.2. Измерения шумового загрязнения в природном заказнике «Воробьевы горы» в летне-осенний период. Составлено автором.

Шумозащитная функция деревьев определяется такими факторами, как площадь листьев и густота крон [Осин, 1962], поэтому можно предположить, что при отсутствии листвы в холодный период года (для Москвы – с октября по апрель) шумовое воздействие метромоста и спортивного комплекса возрастает, т.к. звуковые волны беспрепятственно проникают в глубины лесного массива. Более долгая вегетация растений в условиях светового загрязнения приведет к сокращению этого периода на 2–5 недель.

Регулирование микроклимата. Древесный покров покрывает почти всю территорию ООПТ, незанятую сторонними землепользователями. В заказнике мало открытых пространств (без учета территории спортивного комплекса), поэтому в нем летом поддерживается относительная прохлада, отдыхающие почти не подвергаются воздействию прямых солнечных лучей, а немногочисленные асфальтированные участки не перегреваются. Сомкнутость крон достигает 75–80%. Измерения температуры воздуха, проведенные на открытых участках заказника и под кронами деревьев в летний период 2024 г., показывают различия на 2,9°C, что соотносится с опубликованными данными для природных территорий Москвы [Мягков, 2007]. Древесный покров снижает скорость ветров практически до штилевых значений в нижней части склонов. Протекающая рядом р. Москва также оказывает терморегулирующее воздействие на микроклимат, т.к. в долине реки наблюдаются ветры, способные снижать температуру воздуха на 2–3°C в летний период [Челноков, 2015]. Однако это воздействие наблюдается только на набережной, т.к. зеленые насаждения вдоль набережной ограничивают воздействие ветров на микроклимат заказника.

Световое загрязнение воздействует на регулирование микроклимата так же через увеличение продолжительности вегетации древесных пород, что позволяет обеспечивать защиту от неблагоприятных погодных явлений (дожди, порывистые ветры и т.п.) на 2–5 недель дольше.

Защита от эрозии почв и оползней. Растительный покров на крутых склонах Воробьевых гор выполняет функцию защиты почв от эрозии, предотвращая смыв верхнего почвенного горизонта. В то же время склоны характеризуются высокой оползневой активностью. Известно, что Воробьевы горы без ущерба для ландшафтов могут выдержать только дозированное рекреационное природопользование с просветительской составляющей [Лукашов, 2008]. Однако при строительстве спорткомплекса была практически срезана оползневая терраса (рис. 4.1.3), перестроена эскалаторная галерея, закрытая в 1988 г. именно из-за активизации оползневой деятельности. Таким образом, продолжается активное благоустройство территории на участке бровки плато, потенциально неустойчивой в отношении возможности развития оползней.



Рис. 4.1.3. Склон Воробьевых гор во время строительства одноименного спортивного комплекса. Источник: <https://stroim.mos.ru/>

В разделе 2.3 были перечислены возможные эффекты воздействия избыточного освещения на склоновые процессы. Все они справедливы для ландшафтов рассматриваемого заказника. Склоны Воробьевых гор активно вытаптываются горожанами, растет число стихийных троп, а с 2018 г. оползневые склоны подвергаются избыточному освещению на наиболее узком участке заказника, близ правительственных особняков, а также близ Андреевских прудов. Деградация наземного растительного покрова вследствие вытаптывания склонов и последствий воздействия избыточного их освещения может привести к обнажению склонов, усилению плоскостного смыва и активизации оползневых процессов [Каштанов, 1993].

Экспериментальное изучение влияния светового загрязнения на почвы выходило за рамки исследования, а общие тенденции были рассмотрены выше (см. раздел 2.3). На территории заказника плоскостной смыв может привести к аккумуляции окисленного в условиях избыточного светового воздействия делювия в нижней части ландшафтной катены [Ермолаев, 2009]. Нижние части склонов Воробьевых гор представляют собой супераквальные ландшафты, где происходит разгрузка межпластовых вод (в виде родников) и наблюдается повышенная обводненность территории. Изменения кислотности почв могут ухудшить условия произрастания типичных для заказника древесных пород.

Водоочистная функция лесных массивов в природном заказнике в эксперименте нами не изучалась, а общие закономерности влияния избыточных фотонов света на химическое поглощение в почвах описаны выше (см. раздел 2.3).

Функция опыления, осуществляемая в заказнике насекомыми-опылителями, может быть нарушена из-за привлечения насекомых источниками искусственного освещения и, как

следствие, их гибели, что ставит под угрозу исчезновения растения, внесенные в Красную книгу Москвы, а также самих насекомых-опылителей³⁶. Изучение влияния светового загрязнения на эту экосистемную функцию требует детальных энтомологических исследований.

Влияние на поддерживающие экосистемные функции.

Депонирование углерода. Несмотря на небольшую площадь заказника в сравнении с более крупными природными территориями (национальный парк «Лосиный остров», Битцевский лес и пр.), рассчитаем объемы депонирования углерода в год и общие запасы углерода в фитомассе заказника (табл. 4.1.2). Депонирование углерода лесным массивом оценивалось с помощью объемно-конверсионных коэффициентов для лесных геосистем (с учетом видового состава и возраста деревьев) [Бобылев и др., 1999].

Табл. 4.1.2. Объемы депонирования углерода по преобладающим породам растительных формаций, представленных в природном заказнике «Воробьевы горы»

Преобладающие породы растительных формаций*	Преимущественный класс возраста насаждений	Объемы депонир. углерода, тС/га/год	Площадь древесного покрова, га	Площадь перестойных древостоев**, га	Кол-во депонир. углерода, тС
Береза	Средневозрастные	1,06	14,8	0	15,7
Вяз	Спелые	0	1,9	0,3	0
Дуб	Спелые	0	11,3	1,7	0
Клен	Спелые	0	4,1	0,6	0
Липа	Средневозрастные	0,9	29,5	0	26,6
Ольха	Средневозрастные	0,9	3,5	0	3,2
Ель (парковые насаждения)	Средневозрастные	0,57	8,4	0	4,8
Тополя, осина	Приспевающие	2,14	7,3	1,1	15,6
Ясень	Средневозрастные	-0,09	3,8	0	-0,3
Всего древесной растительности			84,65		65,5

* Ограниченность расчетных данных делает возможными только приблизительные оценки. Данные по площадям, занимаемыми основными древесными породами, предоставлены эколого-просветительским центром «Воробьевы горы» и могут быть устаревшими, т.к. в настоящее время многие лесные участки заказника представляют собой древостой из нескольких пород.

**Депонирование углерода – 0 тС/га/год.

Составлено по [Кадастровое дело..., 1998] и данным, предоставленным эколого-просветительским центром «Воробьевы горы».

³⁶ При рекогносцировочных экологических исследованиях ГБОУ «Воробьевы горы» было отмечено присутствие на территории заказника активной в ночное время голубой ленточницы (*Catocala fraxini*), занесенной в Красную книгу Москвы (<https://eco-study.org/2022/09/13/na-territorii-dvorca-pionerov-zamechena-krasnoknizhnaya-babochka/>)

Всего в природном заказнике древесной растительностью депонируется 65,5 тС в год, т.е. около 0,77 тС/год на гектар, что соотносится со средней величиной депонирования углерода в лесах ЕТР (0,65 тС/га/год) [Исаев и др., 1995]. Принимая коэффициент перевода массы углерода в диоксид углерода, равным 3,66 [Одум, 1975], рассчитаем объем диоксида углерода, депонируемого древесными насаждениями заказника: $66,5 \text{ тС} \cdot 3,66 = 243,4 \text{ т CO}_2$ в год. Увеличение вегетационного периода на 2–5 недель может увеличить объем депонирования углерода до 0,84–0,95 тС/га/год, тогда объем поглощения диоксида углерода составит от 260,2 до 294,2 т CO₂ в год.

Создание чистой первичной продукции в результате воздействия добавленной энергии искусственного светового потока претерпевает изменения. Увеличение вегетационного периода на 2–5 недель создает дополнительные условия для ее увеличения. Основной вклад в создание биомассы создает древесный ярус (94–99%). В эксперименте со смешанным лесным древостоем в УОПЭЦ МГУ Чашниково³⁷ было установлено, что ассимилирующие органы древостоя в среднем аккумулируют 0,78 кг/м² продукции фитомассы в год [Телеснина и др., 2024; Национальный атлас..., 2007]. Принимая длительность вегетационного периода, равной 150 дням, получим около 5,2 г/м² в сутки. Тогда удлинение вегетационного периода дает прибавку чистой первичной продукции в 73–182 г/м², что за год составляет до 0,85–0,96 кг/м².

Избыточное световое воздействие в ночное время негативно влияет на *поддержание биоразнообразия* в заказнике. Так, ландшафтное освещение может снижать количество тенелюбивых видов растений, отпугивать ночных птиц, включая внесенных в Красную книгу Москвы, привлекать большое число насекомых, погибающих у осветительных ламп, и т.п. Воздействие светового загрязнения на структуру естественного наземного покрова в природном заказнике «Воробьевы горы» начато нами в мае 2022 г. путем изучения изменения структуры наземных биоценозов на тестовых площадках.

Для полевых исследований было заложено 8 тестовых участков с типичными для заказника ландшафтными характеристиками, расположенных в зоне светового загрязнения и вне ее. На этих участках в мае 2022 г. и мае 2024 г. были выполнены ботанические описания. Все участки расположены между спортивным комплексом «Воробьевы горы» и Лужнецким метромостом, т.е. в наиболее посещаемой части заказника, испытывающей рекреационную нагрузку, заметную по количеству посетителей, наличию стихийных троп, мусора и т.п. Тестовые

³⁷ Учебно-опытный почвенно-экологический центр МГУ Чашниково расположен в Солнечногорском районе Московской области.

участки расположены в типичных ландшафтных условиях заказника (рис. 4.1.4): на надпойменной террасе под березовыми разнотравными лесами (фоновая точка 1Ф, загрязненная 1С), на эрозионно-оползневой ложбине под кленово-липовыми с участием березы разнотравными лесами (фоновые точки 2Ф и 3Ф, загрязненные точки 2С и 3С), на крутых склонах под кленово-липовыми с участием березы разнотравными лесами (фоновая точка 4Ф, загрязненная точка 4С). Эти урочища типичны для ландшафтной структуры природного заказника. Фотографии точек представлены в Приложении 2.

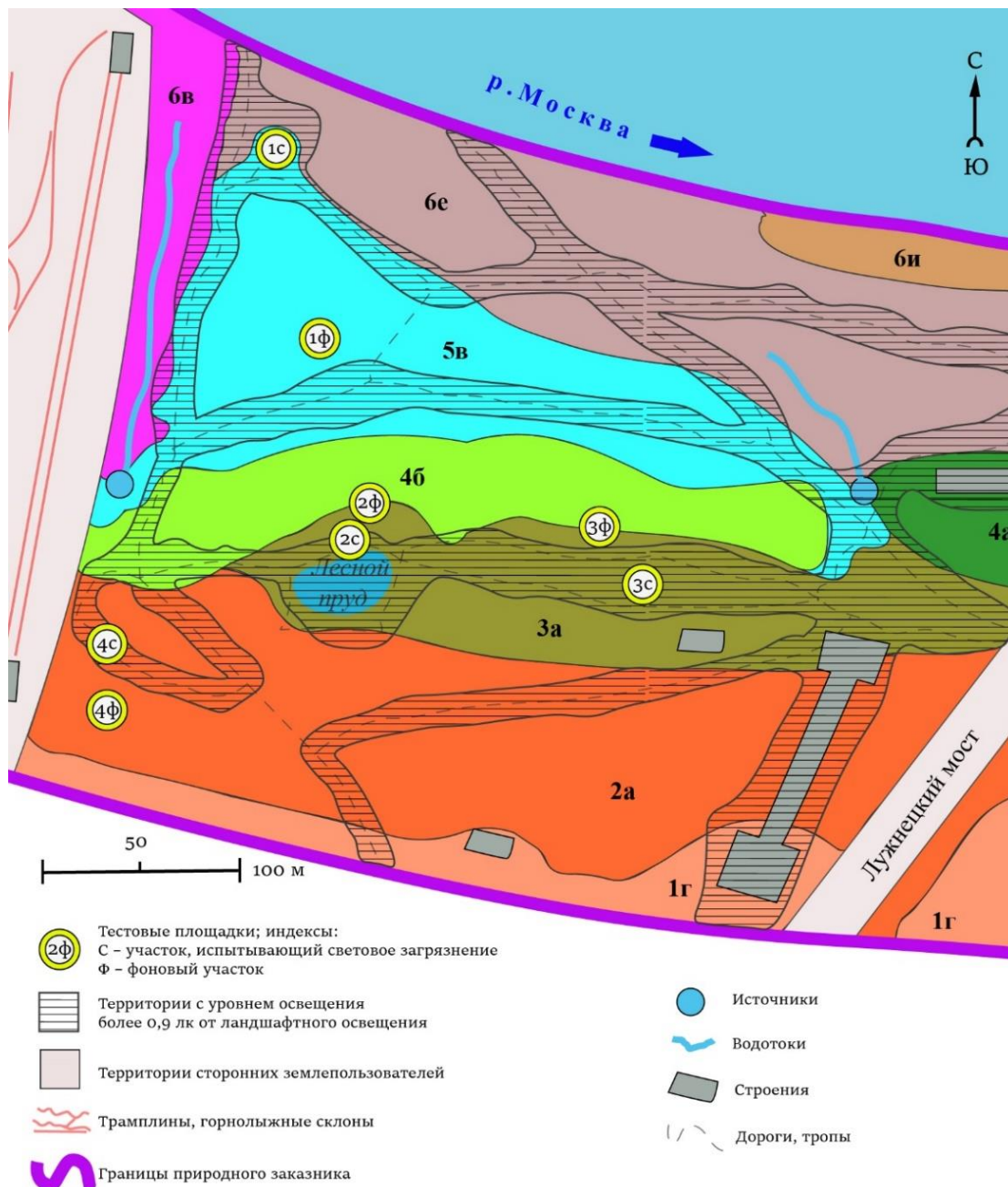
Поскольку древесный растительный покров заказника был преобразован: разрежен для придания паркового вида, практически лишен кустарникового подлеска на «прогулочных» территориях, наблюдения за изменениями его структуры под воздействием светового загрязнения были невозможны. Поэтому наше внимание было направлено на исследование видового состава наземного травяного покрова (табл. 4.1.3). При этом особое внимание уделялось видам, по-разному реагирующим на световое загрязнение, что отмечается в научных исследованиях [Bucher et al., 2022; Shuo et al., 2023], а также опыляемым ночными насекомыми, т.к. избыточное освещение в ночное время часто приводит к их гибели [Liu et al., 2022; Anderson et al., 2023]. Заметим, что описание проводилось на начальной стадии вегетации.

Табл. 4.1.3. Эколого-ботаническая характеристика тестовых площадок

Точка	Видовой состав	Освещенность, лк
1С ¹	Яснотка желтая (<i>Lamium galeobdolon</i>), купена многоцветковая (<i>Polygonatum multiflorum</i>), копытень европейский (<i>Asarum europaeum</i>)	7,2–15,5
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>), медунца 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
2С	Норичник узловатый (<i>Scrophularia nodosa</i>), горошек лесной (<i>Vicia sylvatica</i>), барвинок малый (<i>Vinca minor</i>) ³ , золотарник обыкновенный (<i>Solidago virgaurea</i>)	9,3–12,5
2Ф	Яснотка желтая (<i>Lamium galeobdolon</i>), яснотка белая (<i>Lamium album</i>), горошек лесной (<i>Vicia sylvatica</i>) ³ , 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 , колокольчик широколистный (<i>Campanula latifolia</i>) ³ , вероника дубравная (<i>Veronica chamaedrys</i>) ³	0,3
3С	Чистяк весенний (<i>Ficaria verna</i>), колокольчик (<i>Campanula sp.</i>), кочедыжник (<i>Athyrium sp.</i>) ⁴ , ветреница дубравная (<i>Anemone nemorosa</i>) ⁴ , щитовник мужской (<i>Dryopteris filix-mas</i>) ⁴ , копытень европейский (<i>Asarum europaeum</i>) ⁴	32
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
4С	Ветреница лютиковая (<i>Anemone ranunculoides</i>), вероника длиннолистная (<i>Veronica longifolia</i>), герань лесная (<i>Geranium sylvaticum</i>), сныть обыкновенная	4–7

	(<i>Aegopodium podagraria</i>), воронец колосистый (<i>Actaea spicata</i>) ³ , яснотка крапчатая (<i>Lamium maculatum</i>) ³	
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

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



Ландшафтные урочища

1г	Поверхность пологоволнистая, выработанная в моренных отложениях, перекрытых мощными (до 3 м) покровными суглинками под березняком разнотравным, малонарушенным на дерново-подзолистых почвах
2а	Склоны крутые (25–40°), сложенные маломощными (до 1 м) делювиальными суглинками, деформируемые оползновыми процессами под кленово-липовыми с участием березы разнотравными малонарушенными лесами на дерновых, местах смытых почвах
3а	Ложбины эрозивно-оползневые, сложенные делювиальными суглинками, деформируемые оползновыми процессами, под кленово-липовыми с участием березы разнотравными малонарушенными лесами на дерновых оглеенных почвах
4а	Аллювиальные террасы сложного профиля, сложенные делювиальными суглинками, деформируемые оползновыми процессами, под кленово-липовыми с участием березы разнотравными малонарушенными лесами на дерновых глееватых почвах
4б	Аллювиальные террасы сложного профиля, сложенные делювиальными суглинками, деформируемые оползновыми процессами, под дубово-вязово-липовыми разнотравными малонарушенными лесами на дерновых глееватых почвах
5в	Техногенно выровненные надпойменные террасы, сложенные делювиальными суглинками, деформируемые оползновыми процессами, под березовыми разнотравными искусственными насаждениями на урбоземах дерново-подзолистого типа
6в	Склоны оползневые (10–25°), деформируемые оползновыми процессами, под березняком разнотравным, малонарушенным на дерновых глееватых почвах
6е	Склоны оползневые (10–25°), деформируемые оползновыми процессами, под березовыми разнотравными искусственными насаждениями на дерновых почвах
6и	Склоны оползневые (10–25°), деформируемые оползновыми процессами, под разнотравными суходольными сеянными лугами на уплотненных техногенных грунтах

Рис. 4.1.4. Ландшафтная характеристика исследуемого участка заказника «Воробьевы горы» и расположение тестовых площадок. Составлено автором.

Видовой состав травянистых растений демонстрирует их предпочтения к местообитаниям различной степени освещенности. Это позволило нам отобрать виды-маркеры (виды, особенно чувствительные к режиму освещенности) для последующего мониторинга, при этом исключив те из них, которые толерантны к уровню освещенности. Заметим, что «идеальные» загрязненные и фоновые площадки встречаются нечасто, что связано с особенностями ландшафтной дифференциации территории и её интенсивным рекреационным использованием.

Было выявлено, что на участках со световым загрязнением отсутствуют тенелюбивые растения (недотрога мелкоцветковая, подмаренник промежуточный, пролесник многолетний и др.). В то же время на освещенных участках зацветают раньше, чем на фоновых участках, такие виды, как яснотка желтая, ветреница лютиковая, воронец колосистый и т.д. Для дальнейшего мониторинга отобраны наиболее характерные для заказника виды – маркеры освещенности:

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.

Зацветают в условиях светового загрязнения раньше, чем на фоновых участках: яснотка желтая и крапчатая, ветреница лютиковая, воронец колосистый, горошек лесной, герань лесная и др.

За состоянием этих видов растений целесообразно вести регулярные наблюдения. В разделе 4.2 мы рассматриваем возможное влияние триггерных значениях добавленной световой энергии на суточную и сезонную ритмику древесных пород, которое также может быть подтверждено фенологическими мониторинговыми наблюдениями.

Влияние на информационные экосистемные функции.

Световое загрязнение изменяет внешний облик уникальных для практически центральной части Москвы природных ландшафтов, ухудшая многие информационные функции, из которых наиболее очевидны рекреационные. Это связано как с ухудшением эстетических характеристик ландшафтов, так и со спецификой влияния искусственного освещения на здоровье человека. Ухудшение эстетических свойств ландшафтов Воробьевых гор изучено нами путем социологического опроса, проведенного на территории заказника, результаты которого будут рассмотрены подробнее в разделе 4.3.

Световое загрязнение может оказывать отрицательное воздействие на посетителей заказника в темное время суток, когда работает ландшафтное освещение, причем связано это не только с нарушением выработки мелатонина и последующими рисками для здоровья, но и с пульсацией освещения (см. раздел 1.2). Исследований, посвященных отрицательному влиянию пульсации освещения на здоровье человека, в настоящее время немного (см. раздел 1.3).

Отечественные ГОСТы предписывают не учитывать пульсацию частотой более 300 Гц [СНиП 23-05-95..., СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03...] как «не оказывающие влияния на общую и зрительную работоспособность» несмотря на то, что человеческое зрение реагирует на частоты до 1,0 кГц. Институт инженеров электротехники и электроники (*Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE*) предлагает безопасный коэффициент пульсации для частоты 100 Гц – не более 3%, коэффициент пульсации с низким уровнем риска – не более 8% [IEEE, 2008]. В СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» допустимый коэффициент пульсации освещенности жилых и общественных зданий и рабочих мест не должен превышать 20%. Коэффициенты пульсации у различных источников освещения различаются: у светодиодов – до 8%, у ламп накаливания – до 20%, у галогенных ламп – до 30%, люминесцентных ламп – до 40%. Однако коэффициенты пульсации ландшафтного освещения в природном заказнике «Воробьевы горы» отличаются от нормальных значений. Прожекторы ландшафтного освещения питаются током с промышленной частотой 50 Гц, следовательно, световой поток пульсирует с частотой 100 Гц [Стенин, 2017]. Измерения коэффициента пульсации проводились с помощью пульсметра «Эколайт-02» в летне-осенний период 2023 г. на участке заказника, где световой поток

от прожектора попадает напрямую на фотометрический датчик. Результаты измерений представлены в табл. 4.1.4.

Табл. 4.1.4. Значения пульсации освещения в природном заказнике «Воробьевы горы»

Тип освещения	Свет	Коэффициент пульсации, %
Ландшафтное	Красный	53,9–58,2
	Оранжевый	62,6–69,7
	Желтый	45,3–56,8
	Зеленый	19–23
	Голубой	1,7–4,2
	Фиолетовый	61,3–73,3
	Розовый	100
Уличное	Натриевые лампы высокого давления (<i>желтый свет</i>)	100
	Светодиодные лампы (<i>белый свет</i>)	0,5

У ландшафтного освещения коэффициент пульсации различается в зависимости от спектра излучаемого света, причем минимальные значения пульсации характерны голубому и зеленому свету (до 25%), что укладывается в допустимые нормы. Часть тропинок и дорог освещается НЛВД, излучающими желтый свет и обладающими максимальным коэффициентом пульсации, последствия воздействия которого могут отразиться на здоровье людей [Hazell, McColl, 1995].

Эколого-экономическая оценка изменения стоимости пулов экосистемных услуг при возможном их изменении в результате светового загрязнения.

Определение динамики экосистемных функций ландшафтов природного заказника «Воробьевы горы» под воздействием светового загрязнения позволяет провести выборочную первичную эколого-экономическую оценку изменения стоимости экосистемных услуг территории заказника с учетом имеющихся методических подходов и базы данных по заказнику, мировых баз данных [Бобылёв и др., 2012; Тишков, 2014; De Groot et al. 2002, 2012; Daly et al., 2003; MAES, 2016 и др.]. Подобная оценка направлена на поиск путей корректировки кадастровой стоимости участков заказника, не учитывающей в настоящее время стоимость экосистемных функций, что сводит решение проблемы сохранения экосистемных функций заказника к сугубо альтруистским позициям.

Важно понимать, что приведенные ниже расчеты носят оценочный, приблизительный характер, в них использованы осредненные характеристики по экосистемным услугам близких по природным условиям территорий, т.к. необходимых данных натурных наблюдений для

расчетов пока очень мало. Выборка экосистемных услуг для обсчета объясняется этим же фактом. Стоит также отметить, что стандартизированной методики расчетов пока не существует, но наиболее часто используются аналоговый и рыночный методы, которые мы и применяем [Бобылев и др., 2012; de Groot et al., 2002; MAES, 2016].

Фильтрация загрязненного воздуха. Низкая плата за тонну выбросов в России³⁸ явно не соотносится со стоимостью экосистемной услуги по регулированию качества воздуха в лесном массиве. Для широколиственных лесов стоимость экосистемной услуги составляет 10,6 долл./га в год [de Groot et al., 2012]. Тогда для лесного массива заказника общая стоимость услуги за вегетационный период составит 897,3 долл. При росте продолжительности вегетационного периода до 5 недель стоимость экосистемной услуги возрастет до 1106,7 долл.

Фильтрация вод. Расчеты пока возможны только для заболоченных участков, играющих важную роль в фильтрации вод. В природном заказнике их общая площадь составляет 2,35 га. Известно, что стоимость ассимиляционной экосистемной услуги водно-болотных угодий составляет 4573 долл./га в год [de Groot et al., 2012], тогда для природного заказника стоимость будет равна 10746,5 долл. в год.

Депонирование углерода. С учетом средней стоимости эмиссии 1 т CO₂ в мире, равной 10,72 долл. [Назаренко, Красноярова, 2018] получим 2609,2 долл. (на 1 га леса получим 30,8 долл./год). При увеличении продолжительности вегетационного периода на 2–5 недель сумма составит 2789,3–3153,8 долл. (на 1 га леса 32,9–37,2 долл./год).

Стоимостная оценка экосистемных *информационных услуг* возможна с помощью подсчета затрат людей на готовность платить за рекреационные и образовательные услуги, предоставляемые различными компаниями на территории природного заказника. В их число входят канатная дорога от Воробьевых гор до Лужников, высотный спуск (скайпарк) Zipline, экскурсии по природному заказнику, велопрокат на набережной и т.д. Тем не менее, канатная дорога и скайпарк проходят над территорией заказника и в малой степени зависят от ландшафтных характеристик, эксплуатируя только особенности рельефа, в то время как основную часть доходов дают технические сооружения. Иными словами, пейзажи, наблюдаемые рекреантами с канатной дороги, мало связаны с самим заказником, который воспринимается сверху как лес, и их оценочные характеристики относятся к иным масштабам наблюдений.

³⁸ 36,6 руб. за 1 тонну выбросов взвешенных частиц согласно Постановлению Правительства РФ от 13.09.2016 N 913 (ред. от 24.01.2020) "О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах"

Экскурсионное обслуживание в природном заказнике включает около 8 экскурсий в день со средней стоимостью 4800 руб./чел. суммарно для 45–50 чел.³⁹. Таким образом, общая стоимость экскурсий в день составляет около 240 тыс. руб. Экскурсии проводятся на протяжении 5 месяцев (с мая по сентябрь), таким образом, максимальная стоимость проводимых экскурсий составит 36 млн руб.

В табл. 4.1.5 мы обобщили проведенные оценки стоимости экосистемных услуг заказника, дополнив их имеющейся информацией из мировых баз данных.

Табл. 4.1.5. Первичная оценка стоимости экосистемных услуг природного заказника «Воробьевы горы»

№	Экосистемные услуги	Стоимость**, долл.
1	Фильтрация загрязненного воздуха	897,3
2	Фильтрация вод*	10746,5
3	Депонирование углерода	2609,2
4	Регулирование климата*	19469
5	Регулирование биогеохимических круговоротов*	11935
6	Предотвращение эрозии*	643,3
7	Поддержание биоразнообразия*	140772,9
8	Рекреационные услуги* (включая экскурсионное обслуживание)	531895
9	Эстетические и гедонистические функции*	127
ВСЕГО		719 095,2
* Рассчитано по данным [de Groot, 2012] для широколиственных лесов		
** Рассчитано на всю площадь заказника без учета территорий сторонних землепользователей		

Полученные данные удовлетворительно согласуются с аналогичными опубликованными в немногочисленных литературных источниках [Бобылев и др., 2001; Исаева и др., 2004; MAES, 2016; Burkhard et al., 2018]. Таким образом, минимальная стоимость экосистемных услуг, оказываемых природным заказником «Воробьевы горы» равна 75,5 млн руб., что в пересчете на 1 га дает 892,4 тыс. руб., что в целом соотносится и даже превышает среднюю стоимость всех экосистемных услуг, предоставляемых гектаром широколиственного леса (406 тыс. руб.) [de Groot, 2012]. Кадастровая стоимость природного заказника «Воробьевы горы» при этом в 13 раз ниже и составляет всего 5,7 млн руб. Интересно при этом, что стоимость спорткомплекса составляет около 2 млрд руб., а стоимость набережной – 1,045 млрд руб.

³⁹ Вычислено по данным с туристического сайта <https://experience.tripster.ru>, и по данным, полученным в ходе опроса экскурсоводов. Не учитываются обзорные экскурсии по Москве, во время которых посещается лишь смотровая площадка Воробьевых гор, а не сам заказник.

Эколого-экономические расчеты показывают, что избыточное освещение незначительно увеличит стоимость таких экосистемных услуг, как фильтрация загрязненного воздуха и депонирование углерода, однако очевидно, что функции опыления и сохранения биоразнообразия, эстетические и гедонистические пострадают значительно больше, исходя из их средних мировых оценок для аналогичных условий, однако это пока невозможно подсчитать. Таким образом, можно предположить, что световое загрязнение в целом способно снизить стоимость экосистемных услуг, предоставляемых заказником.

4.2. Влияние светового загрязнения на изменение сезонной и суточной ритмики ландшафтов заказника

Световое загрязнение оказывает влияние на различные экосистемные функции ландшафтов. Свет является одним из важнейших источников энергии, определяющим ритмичность природных процессов. Эта функция принадлежит к универсальным экосистемным функциям, без которой существование ландшафта невозможно. Ритмичность природных процессов в пространстве и времени связана с астрономическими, геологическими и др. циклами: от планетарных геологических ритмов глобального масштаба до суточных региональных и локальных. Солнечная энергия, циклично поступающая на земную поверхность, определяет сезонные и суточные ритмы развития, что находит отражение в ландшафтной структуре территории. Ритмичность поступления солнечной энергии в пределах 24-х часов влияет на микроклиматические характеристики, интенсивность геоморфологических и внутрипочвенных процессов, вызывает физиологические изменения у растений и животных (циркадные ритмы) [Беручашвили, 1986; Солнцев, 2001]. В средних широтах сезонные ритмы определяют фенофазы развития растений, сезонное изменение видового состава орнитофауны, интенсивность процессов разложения органического вещества в почвах и т.д. Суточные ритмы определяют изменения температурного режима, влажности, циркадных ритмов у растений и животных.

Световое загрязнение может рассматриваться в виде притока дополнительной энергии фотонов в ландшафт, а тепловая энергия от осветительных приборов может оцениваться как геофизический (энергетический) фактор антропогенной динамики ландшафта. В.И. Вернадский, рассматривая проблему устойчивого состояния географических объектов, заметил, что оно достигается в результате установления динамических физико-химических равновесий, которое нарушается чуждыми данному состоянию проявлений энергии [Вернадский, 1967]. Поэтому неконтролируемый рост светового загрязнения, типичный для урбанизированных территорий и охватывающий городские ООПТ, представляет угрозу для нормального функционирования их экосистем. Влияние избыточного света на состояние ландшафта практически не изучено, хотя

можно считать, что сопряженные изменения транслируются через растительный и почвенный покров, преобразующие энергетические потоки. В связи с этим представляется важной оценка количества дополнительной (добавленной) энергии, поступающей в ландшафт от источника искусственного освещения. Эта оценка невозможна без знания технических характеристик источников освещения и времени работы освещения.

Технические характеристики искусственного ландшафтного освещения. Подсветка на Воробьевых горах осуществляется LED-светодиодными уличными прожекторами архитектурно-художественной иллюминации (рис. 4.2.1) мощностью 163 Вт, оснащенными многоканальными контроллерами для смены цветов (табл. 4.2.1). На каждом прожекторе расположены светодиоды, аналогичные светодиоду ARPL-Star-3W-EPA-RGB мощностью 3 Вт (рис. 4.2.2).

Табл. 4.2.1. Некоторые технические характеристики ландшафтного освещения

Прожектор	Модель	N2-2-10-RGB
	Мощность	163 Вт
	Угол освещенности	25° (акцентное освещение)
	Цветовая модель	RGB (Red–Green–Blue)
	Управление	DMX – управление многоканальными контроллерами, определяющими возможность плавной смены цветов
	Входящее напряжение	AC 220В
	Частота переменного напряжения в электросети	50/60 Гц
Светодиод	Длина волны, нм	Red: 625 нм; Green: 525 нм; Blue: 470 нм
	Световой поток, лм	Red: 70 лм; Green: 95 лм; Blue: 25 лм
	Падение напряжения	Red: 2,2 В; Green: 3,2 В; Blue: 3,2 В
	Мощность	3 Вт
	Прямой ток	0,35 А

Светодиоды, как любой источник освещения, излучают видимую часть спектра, при этом выделяя тепло. Тепло выделяется из кристаллов светодиодов и передается на теплоотводящую подложку (рис. 4.2.3), а затем на радиатор, который рассеивает его в окружающую среду (рис. 4.2.4). В светодиодных лампах бытового класса размер радиаторов минимален, либо его роль выполняет плата светодиода или корпус самой лампы. Однако для охлаждения ламп мощностью более 18 Вт требуются специальные системы охлаждения, а для моделей мощностью более 50 Вт – кулеры. Мощность одного прожектора на территории заказчика – 163 Вт.



Рис. 4.2.1. Проекторы ландшафтного освещения на опоре

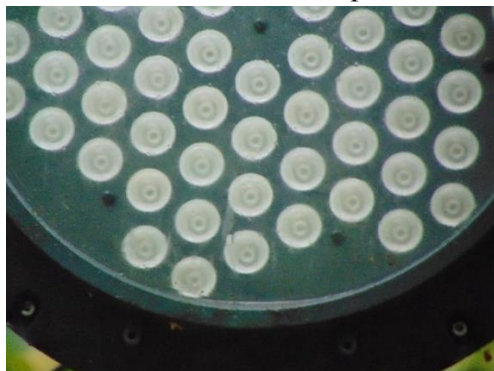


Рис. 4.2.3. Светодиоды, расположенные на алюминиевой теплоотводящей подложке



Рис. 4.2.2. Светодиод ARPL-Star-3W-EPA-RGB, аналогичный установленному на прожекторе



Рис. 4.2.4. Радиатор прожектора, отводящий тепло с алюминиевой подложки

Рис. 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 – автора, рис. 4.2.4 – Arlight⁴⁰

Лишь часть мощности, подаваемой в прожектор, расходуется на световую энергию. Для ее расчета из общей энергетической мощности прожектора вычтем количество выделяемой в окружающую среду тепловой энергии, которое можно высчитать, зная КПД одного светодиода. Рассчитаем КПД с помощью коэффициента преобразования энергетических величин в световые. Этот коэффициент связывает значение световой характеристики излучения A_c (световой поток) с заданным спектральным распределением $\varphi(\lambda)$ с его аналогичной энергетической характеристикой A_λ (поток излучения), и вычисляется по следующей формуле

$$A_c = K_{\lambda, c} \cdot A_\lambda, \text{ откуда имеем } A_\lambda = \frac{1}{K_{\lambda, c}} \cdot A_c,$$

где коэффициент $K_{\lambda, c} = \frac{K_m \int_0^\infty \varphi(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^\infty \varphi(\lambda) \cdot d\lambda}$, K_m – множитель, для дневного зрения равный

683 лм/Вт, $V(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность излучения⁴¹.

⁴⁰ Мощный светодиод ARPL-Star-3W-EPA-RGB (350mA, W/W) (Arlight, Emitter) [Электронный ресурс]. – URL: <https://arlight.ru/catalog/product/022248/> (дата обращения: 14.11.2023)

⁴¹ ГОСТ Р 58461–2019. Освещение растений в сооружениях защищенного грунта. Термины и определения : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2020-01-01 / Технический комитет по стандартизации. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 19 с.

Воспользуемся также коэффициентом преобразования световых величин в энергетические. Коэффициент $K_{с.э.}$, обратный коэффициенту преобразования энергетических величин в световые $K_{э.с.}$ ⁴² равен:

$$K_{с.э.} = \frac{1}{K_{э.с.}} = \frac{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) \cdot d\lambda}{K_m \int_0^{\infty} \varphi(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}, \text{ тогда } A_{э} = \frac{\int_0^{\infty} \varphi(\lambda) \cdot d\lambda}{683 \cdot \int_0^{\infty} \varphi(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} \cdot A_c$$

Т.к. нами рассматриваются только три длины волны (для красного цвета – 625 нм, для зеленого – 525 нм, для голубого – 470 нм), а не весь видимый спектр, то вычисление происходит по дискретным значениям (т.е. определенным в одной или нескольких точках, а не на всем спектре). Тогда интервалы берутся по бесконечно малой области, и

$$\begin{aligned} A_{э} &= \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\int_{\lambda}^{\lambda+\Delta\lambda} \varphi(\lambda) \cdot d\lambda}{683 \cdot \int_{\lambda}^{\lambda+\Delta\lambda} \varphi(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} \cdot A_c = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\varphi(\lambda^*) \cdot \Delta\lambda}{683 \cdot \varphi(\lambda^{**}) \cdot V(\lambda^{**}) \cdot \Delta\lambda} \cdot A_c = \\ &= \frac{\varphi(\lambda)}{683 \cdot \varphi(\lambda) \cdot V(\lambda)} \cdot A_c = \frac{A_c}{683 \cdot V(\lambda)}; \lambda^*, \lambda^{**} \in [\lambda, \lambda + \Delta\lambda] \end{aligned}$$

Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения $V(\lambda)$ для длины волны $\lambda = 625$ нм равна 0,321, для длины волны $\lambda = 525$ нм равна 0,793, для длины волны $\lambda = 470$ нм равна 0,090⁴³. Зная силу светового потока, равной для красного цвета $A_c = 70$ лм, для зеленого цвета $A_c = 95$ лм, для голубого цвета $A_c = 25$ лм, находим энергию излучения от «голового» светодиода (без учета первичной и вторичной оптики, т.е. линзы светодиода и линзы прожектора):

$$A_{э (RED)} = \frac{70}{683 \cdot 0,321} = 0,31 \text{ Вт}$$

$$A_{э (GREEN)} = \frac{95}{683 \cdot 0,793} = 0,17 \text{ Вт}$$

$$A_{э (BLUE)} = \frac{25}{683 \cdot 0,090} = 0,40 \text{ Вт}$$

Оптика светодиода и прожектора, как правило, снижает световой поток на 10–20% [Белоусов, Моисеев, 2010], поэтому умножим полученные значения на среднее значение 0,85.

⁴² Там же

⁴³ ГОСТ 8.332–2013. Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения. Общие положения : межгосударственный стандарт : дата введения 2015-10-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2019 – 12 с.

$$A_{э (RED)} = 0,26 \text{ Вт}$$

$$A_{э (GREEN)} = 0,14 \text{ Вт}$$

$$A_{э (BLUE)} = 0,34 \text{ Вт}$$

Тогда среднее арифметическое значение энергии света от одного светодиода составит $A_э = 0,24 \text{ Вт}$. Следовательно, при мощности 3 Вт получим средний КПД = 8%, что в целом соотносится со средней энергетической эффективностью светодиодного кристалла [Bergh et al., 2001]. Таким образом, один рассматриваемый нами светодиод излучает около 0,24 Вт в виде световой энергии и 2,76 Вт рассеивает в виде тепловой энергии.

Энергия светового потока. При известной мощности прожектора 163 Вт и его КПД, равном 8%, получим, что только 13 Вт расходуется на световую энергию. Тогда за один час ($13 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с}$) от одного прожектора в окружающую среду поступает 46,8 кДж световой энергии, от 12 прожекторов на опоре – 561,6 кДж/час, от всех 12 тыс. прожекторов на территории заказчика – 561,6 МДж/час. Общая площадь освещаемой ландшафтным освещением кроны деревьев составляет около 40 га, тогда в пересчете на 1 м^2 кроны это составит 1400 Дж в час (или 23 Дж/мин). Важно понимать, что крона дерева представляет собой не двумерную плоскую поверхность, равномерно освещаемую снизу, а сложный объемный объект, разные части которого получают разное количество световой энергии, поэтому в целях упрощения за 1 м^2 кроны примем условную квадратную поверхность со стороной 1 м, приподнятую параллельно земле на среднюю высоту дерева (20 м) и принимающую на себя энергию светового потока. Также необходимо понимать, что часть световой энергии от ландшафтного освещения уходит в небо через просветы между крон, а часть – отражается от листвы и поглощается наземным растительным и почвенным покровом, либо снова отражается ими в кроны. Отражательная способность листвы при этом зависит от множества факторов: возраста листьев, углового распределения листьев, метеорологических характеристик приземного слоя воздуха, оптических свойств листьев и т.п. [Янков, 2018].

Энергия теплового потока. Тепловое излучение, в отличие от светового потока, распространяется непрямолинейно. Его распространение в среде зависит от разных факторов – теплопроводности среды, конвекции, направления воздушных потоков, особенностей рельефа и пр. Оценить эти параметры в настоящем исследовании не представляется возможным, более того влияние добавленной тепловой энергии на экосистемы имеет более сложную зависимость от исходных и меняющихся характеристик ландшафта, чем световой, что требует дополнительных исследований. Тем не менее представляется возможной приблизительная оценка количества

выделяемой тепловой энергии. Исходя из технических характеристик используемых прожекторов, получим, что 150 Вт рассеивается в виде тепла. Тогда тепловой поток от одного радиатора прожектора составит 540 кДж/час, 12 прожекторов выделяют в окружающую среду 6,48 МДж/час, а все 12 тыс. прожекторов в заказнике – 6480 МДж/час. Таким образом, ландшафтное освещение в заказнике за час работы излучает в окружающую среду тепло, эквивалентное теплу, высвобождаемому при сгорании 176 л нефти средней плотности.

Сезонные вариации антропогенного поступления энергии. Как было отмечено ранее, ландшафтное освещение включается через 15 минут после захода Солнца и работает до полуночи, что при различной длительности светового дня определяет продолжительность работы ландшафтного освещения и поступления добавленной энергии. На основании времени включения ландшафтного освещения и его работы в минутах было рассчитано количество добавленной световой энергии для каждого дня в году на квадратный метр освещаемой кроны (табл. 4.2.2).

Табл. 4.2.2. Количество добавленной световой энергии в зависимости от продолжительности светового дня в течение года, в кДж/м²

Дата	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Ноя.	Дек.
1	10,56	9,32	7,91	6,46	5,06	3,80	3,40	4,30	5,93	7,75	9,50	10,63
2	10,53	9,27	7,87	6,42	5,01	3,77	3,43	4,35	6,00	7,80	9,55	10,65
3	10,51	9,20	7,82	6,37	4,97	3,73	3,43	4,39	6,05	7,87	9,59	10,67
4	10,49	9,15	7,77	6,33	4,92	3,70	3,45	4,44	6,12	7,94	9,64	10,70
5	10,47	9,11	7,73	6,28	4,88	3,68	3,45	4,49	6,19	7,98	9,68	10,70
6	10,42	9,06	7,68	6,23	4,83	3,66	3,47	4,53	6,23	8,05	9,73	10,72
7	10,40	9,02	7,64	6,19	4,78	3,63	3,50	4,58	6,30	8,10	9,78	10,74
8	10,35	8,97	7,59	6,14	4,76	3,59	3,50	4,62	6,35	8,17	9,82	10,74
9	10,33	8,90	7,54	6,10	4,72	3,57	3,52	4,67	6,42	8,21	9,87	10,76
10	10,28	8,86	7,48	6,05	4,65	3,54	3,54	4,74	6,49	8,28	9,91	10,76
11	10,26	8,81	7,43	6,00	4,62	3,52	3,57	4,78	6,53	8,33	9,96	10,79
12	10,21	8,76	7,38	5,96	4,58	3,52	3,59	4,83	6,60	8,40	10,01	10,79
13	10,17	8,72	7,34	5,91	4,53	3,50	3,61	4,88	6,65	8,46	10,05	10,79
14	10,14	8,67	7,29	5,87	4,49	3,47	3,66	4,92	6,72	8,51	10,07	10,79
15	10,10	8,60	7,25	5,82	4,44	3,45	3,68	4,99	6,79	8,58	10,12	10,79
16	10,05	8,56	7,20	5,77	4,39	3,45	3,70	5,04	6,83	8,63	10,17	10,79
17	10,01	8,51	7,15	5,70	4,37	3,43	3,73	5,08	6,90	8,69	10,19	10,79
18	9,96	8,46	7,11	5,66	4,30	3,43	3,75	5,15	6,97	8,74	10,24	10,79
19	9,91	8,42	7,06	5,61	4,28	3,40	3,80	5,20	7,02	8,79	10,28	10,79
20	9,87	8,37	7,02	5,57	4,23	3,40	3,82	5,24	7,08	8,86	10,30	10,79
21	9,84	8,30	6,97	5,52	4,19	3,40	3,86	5,31	7,13	8,90	10,35	10,76
22	9,80	8,26	6,92	5,47	4,14	3,38	3,89	5,36	7,20	8,97	10,37	10,76
23	9,75	8,21	6,88	5,43	4,12	3,38	3,93	5,43	7,27	9,02	10,42	10,74
24	9,71	8,17	6,83	5,38	4,07	3,38	3,96	5,47	7,31	9,06	10,44	10,74

25	9,64	8,12	6,79	5,34	4,05	3,38	4,00	5,54	7,38	9,13	10,47	10,72
26	9,59	8,07	6,74	5,29	4,00	3,38	4,05	5,59	7,45	9,18	10,51	10,70
27	9,55	8,03	6,69	5,24	3,96	3,38	4,09	5,66	7,50	9,22	10,53	10,70
28	9,50	7,96	6,65	5,20	3,93	3,38	4,12	5,70	7,57	9,29	10,56	10,67
29	9,45	-	6,60	5,15	3,89	3,40	4,16	5,77	7,61	9,34	10,58	10,65
30	9,41	-	6,56	5,11	3,86	3,40	4,21	5,82	7,68	9,38	10,60	10,63
31	9,36	-	6,51	-	3,82	-	4,26	5,89	-	9,43	-	10,60
Всего	310,6	241,8	223,4	173,5	136,8	105,1	116,1	156,8	204,3	267,0	303,3	332,6

При стабильном режиме работы за год ландшафтным освещением всего будет излучено $1,05 \cdot 10^{12}$ Дж световой энергии и выделено $12,1 \cdot 10^{12}$ Дж тепла. Возвращаясь к аналогиям с теплом, высвобождаемым при сгорании нефти, последнее значение будет эквивалентно около 322 м^3 нефти средней плотности, что равно объему четырех железнодорожных цистерн среднего размера.

Триггерные значения добавленной энергии в сезонной ритмике внутриландшафтных процессов. Основным аккумулятором и преобразователем поступающей в ландшафт световой энергии является растительный покров. 40–45% энергии Солнца приходится на видимый свет, радиация которого поглощается пигментами хлоропластов в листьях растений и называется фотосинтетически активной радиацией (ФАР). В умеренных широтах в летний полдень лист растения поглощает 85% видимого света, пропускает 5% и отражает 10%, инфракрасная радиация (тепло) поглощается на 25%, пропускается на 30% и отражается на 45% [Малкина, 1967]. При этом ФАР для разных областей спектра поглощается по-разному: наиболее поглощаемыми являются лучи красного и синего спектра, наименее поглощаемыми – зеленого. Примем коэффициент поглощения ФАР лесными массивами заказника (с преобладанием клена, липы, дуба) для формирования фитомассы равным 1,15%, опираясь на средние значения расчетов для лесных территорий с наиболее близким видовым составом [Бурцев, 2013; Осипов, 2013; Дьяконов и др., 2017; Истомина, Каплина, 2017]. Эта энергия поглощенного света и определяет ритмику ландшафтных процессов, запуская распускание почек весной и листопад осенью, влияет на миграцию химических элементов в почвах и т.п. [Bennie et al., 2016; Škvareninová et al., 2017; Wang et al., 2022].

Известно, что продолжительность фотопериода и температурный режим оказывают прямое влияние на фенофазы древесных пород [Basler, Körner, 2014]. Сравним количество ФАР (в т.ч. и с учетом КПД, равного 1,15%), используя данные наблюдений метеостанции МГУ [Климат Москвы..., 2017], с притоком добавленной световой энергии (табл. 4.2.3).

Табл. 4.2.3. Сопоставление потоков ФАР (в т.ч. с учетом КПД) и добавленной энергии

Месяц	ФАР, МДж/м ²	ДЭ, МДж/м ²	Σ, МДж/м ²	Доля ДЭ от Σ, %	ФАР _{кпд} , МДж/м ²	ДЭ, МДж/м ²	Σ _{кпд} , МДж/м ²	Доля ДЭ от Σ _{кпд} , %
I	23	0,31	23,3	1,33%	0,26	0,31	0,58	54%
II	50	0,24	50,2	0,48%	0,58	0,24	0,82	30%
III	115	0,22	115,2	0,19%	1,32	0,22	1,55	14%
IV	177	0,17	177,2	0,10%	2,04	0,17	2,21	8%
V	258	0,14	258,1	0,05%	2,97	0,14	3,10	4%
VI	271	0,11	271,1	0,04%	3,12	0,11	3,22	3%
VII	265	0,12	265,1	0,04%	3,05	0,12	3,16	4%
VIII	202	0,16	202,2	0,08%	2,32	0,16	2,48	6%
IX	123	0,20	123,2	0,17%	1,41	0,20	1,62	13%
X	57	0,27	57,3	0,47%	0,66	0,27	0,92	29%
XI	21	0,30	21,3	1,42%	0,24	0,30	0,54	56%
XII	13	0,33	13,3	2,49%	0,15	0,33	0,48	69%
Условные обозначения: ФАР – фотосинтетически активная радиация ДЭ – добавленная энергия от светового потока Σ – суммарная энергия (ФАР + добавленная) Доля ДЭ от Σ – доля добавленной энергии от суммарной ФАР_{кпд} – ФАР с учетом коэффициента поглощения, равного 1,15% Σ_{кпд} – суммарная энергия (ФАР_{кпд} + добавленная) Доля ДЭ от Σ_{кпд} – доля добавленной энергии от суммарной с учетом ФАР_{кпд}								

В летние месяцы доля добавленной энергии светового потока от суммарной не велика и составляет 3–6%, а в зимнее время, когда количество солнечной радиации резко снижается, доля, соответственно, возрастает до 50–70%. Влияние добавленной световой энергии на ландшафт в зимнее время незначительно, большее влияние, вероятно, оказывает выделяемое прожекторами тепло.

Интереснее рассмотреть количество ФАР и добавленной энергии от светового потока в условные начальные дни «перестроечного» периода в ландшафтах, когда начинается и заканчивается вегетационный период у растений (периоды распускания почек и листопада). Для разных видов деревьев эти сроки могут отличаться, как и продолжительность вегетационного периода. Для Москвы примем его условно за 150 дней (распускание почек – 27–30 апреля; листопад – 01–04 октября).

Процесс сезонной перестройки ландшафтов в период распускания почек обеспечивает энергия ФАР в 28 МДж/м², в период листопада – 8 МДж/м² [Климат Москвы..., 2017], с учетом коэффициента поглощения ФАР растительным покровом получим 322 кДж/м² и 92 кДж/м² соответственно.

Тогда за 27–30 апреля (3962 минуты солнечного света) один квадратный метр получит 81,3 Дж за одну минуту, а за 01–04 октября (3064 минуты солнечного света) один квадратный метр получит 30 Дж за одну минуту.

Добавленная энергия светового потока от ландшафтного освещения составит 20,7 кДж/м² в конце апреля и 31,36 кДж/м² в начале октября. Как было указано выше, за время работы ландшафтного освещения (27–30 апреля – 900 минут; 01–04 октября – 1363 минуты) добавленная энергия на квадратный метр составляет 23 Дж в минуту.

Рассчитаем для рассматриваемых периодов общее количество световой энергии, приходящей на квадратный метр территории (табл. 4.2.4).

Табл. 4.2.4. ФАР и добавленная энергия в рассматриваемые периоды

Дата	Естественное освещение			Ландшафтное освещение		
	t, мин.	е, Дж/м ²	Е, кДж/м ²	t, мин.	е, Дж/м ²	Е, кДж/м ²
27.04	983	81,3	79,91	228	23	5,24
28.04	988		80,32	226		5,20
29.04	993		80,73	224		5,15
30.04	998		81,13	222		5,11
01.10	773	30	23,19	337	23	7,75
02.10	768		23,04	339		7,80
03.10	764		22,90	342		7,87
04.10	759		22,77	345		7,94
Условные обозначения:						
t – продолжительность/время работы естественного/ландшафтного освещения						
е – среднее количество энергии (ФАР _{кпд} или добавленной) в минуту						
Е – количество энергии за световой день / время работы ландшафтного освещения						

Таким образом, в начале вегетационного периода количество суммарной световой энергии увеличивается до 342,7 кДж/м², т.е. добавленная энергия от ландшафтного освещения дает прирост 6,4%. В конце вегетационного периода количество суммарной энергии возрастает до 123,36 кДж/м², т.е. добавленная энергия дает прирост 34,1%. Можно предположить, что полученные значения притока добавленной энергии могут приводить к ускорению «запуска» фенологических процессов и выступать своего рода «спусковым механизмом» трансформации ландшафта. Подобные выводы подтверждаются экспериментальными наблюдениями за изменениями фенофаз растений в Словакии, Великобритании, России (см. раздел 1.3). Важно при этом заметить, что интенсивность светового потока и освещаемая поверхность в перечисленных

исследованиях была существенно ниже, чем на территории природного заказника «Воробьевы горы».

Триггерные значения добавленной энергии в суточной ритмике внутриландшафтных процессов. Вечерние сумерки также являются «перестроечным» периодом для ландшафта, когда происходят суточные изменения ритмов живой природы. Изменяется освещенность, температура и микроциркуляция воздуха, которые в свою очередь влияют на геоморфологические процессы [Солнцев, 2001]. Меняется функционирование биоты, связанное с присущим ей свойством фотопериодичности. Известно, что физиологически активная длина дня включает в себя и сумеречное время [Шульгин и др., 2016], продолжительность которого на территории природного заказника из-за работы ландшафтного освещения увеличивается в разы. Продолжительность вечерних сумерек в рассматриваемый весенний период составляет 42–43 мин., в осенний – 36–37 мин. Поскольку ландшафтное освещение включается лишь через 15 минут после захода Солнца, то в пределах сумеречного времени добавленная энергия от него будет поступать в ландшафт 27–28 мин весной и 21–22 минут осенью. Проведем сравнение среднего поступления ФАР в вечерние сумерки и количества добавленной энергии (табл. 4.2.5).

Табл. 4.2.5. ФАР и добавленная энергия во время вечерних сумерек

Дата	Естественное освещение			Ландшафтное освещение		
	t, мин.	e, Дж/м ²	E, кДж/м ²	t, мин.	e, Дж/м ²	E, кДж/м ²
27.04	42	81,3	3,41	27	23	0,62
28.04	43		3,5	28		0,64
29.04	43		3,5	28		0,64
30.04	43		3,5	28		0,64
01.10	37	30	1,11	22	23	0,50
02.10	36		1,08	21		0,48
03.10	37		1,11	22		0,50
04.10	37		1,11	22		0,50
Условные обозначения:						
t – продолжительность вечерних сумерек						
e – среднее количество энергии (ФАР _{кпд} или добавленной) в минуту						
E – количество солнечной энергии за период вечерних сумерек / время работы ландшафтного освещения в период вечерних сумерек						

В таком случае добавленная энергия светового потока в весенний период дает прирост 18,2% к количеству рассеянной солнечной радиации, поступающей на поверхность в период сумерек, и 44,9% в осенний период. Такое количество избыточной световой энергии, вероятно,

может быть толчком для запуска циркадных ритмов биоты. На изучаемой территории сумеречная, сумеречно-ночная и ночная активизация характерна для насекомых (поденки, бражники и др.), птиц (ушастая сова, серая неясыть), земноводных (травяная лягушка), млекопитающих (рукокрылые, грызуны). Наблюдаемое сокращение популяции соловья обыкновенного (*Luscinia luscinia*) в заказнике [Макарова, Корнеев, 2019] может быть связано в том числе и со световым загрязнением: непарные самцы регулярно поют по ночам с целью привлечения самок, однако сокращение темного времени суток снижает их шансы. Привлечение насекомых-опылителей освещением может сказаться на разнообразии травяного покрова. На территории заказника произрастает опыляемая ночными насекомыми любка двулистная (*Latanthera bifolia*), лилия кудреватая (*Lilium martagon*), растение «длинного дня» – гвоздика Фишера (*Dianthus fischeri*) и др.

Важно понимать, что сдвиги фенофаз могут быть связаны не только с уровнем освещенности, но и с аномальными климатическими условиями. Так, в условиях аномально теплой весны распускание почек может происходить раньше, чем обычно, а листопад – соответственно, позже, поэтому анализ климатических особенностей очень важен при изучении фенологических сдвигов. Однако такие исследования должны носить мониторинговый характер и захватывать период, явно превышающий два года (как в настоящем исследовании), чтобы более точно определять воздействие непосредственно светового фактора на продолжительность фенофаз. Тем не менее известно, что: *«Фотосинтезирующие органы растений на определенной стадии начинают развиваться достаточно автономно, слабо реагируя на колебания температуры и увлажнения... Летом и ранней осенью деградация фотосинтезирующего аппарата в большей степени связана с длиной светового дня и биоритмами отдельных видов, нежели с изменением гидротермических условий»*⁴⁴. [Беручашвили, 1989].

Выполненная оценка влияния избыточного освещения на сезонную и суточную ритмику ландшафтов пока носит оценочный характер. Несмотря на то, что в настоящем исследовании затрагивается в основном отклик биоты на изменение поступления добавленной энергии в вегетационный период, полученные данные позволяют раскрыть энергетическую сущность светового загрязнения и уточнить антропогенные потоки энергии в ландшафтах. Результаты такого воздействия могут быть как положительными (удлинение вегетационного периода, активизация биогеохимического круговорота и др.), так и отрицательными (сокращение фоточувствительных видов растений и животных, усиление смога, развитие неблагоприятных

⁴⁴ Параграф 3.4 «Особенности синтеза состояний элементарных ПТК в течение года» в монографии Н.Л. Беручашвили написан А.Г. Исаченко.

экзогенных геоморфологических процессов и др.). Исследования таких процессов пока единичны. Так, К.С. Воскресенским была оценена эксергия перемещения грунтов для северотаежных районов Субарктики [Воскресенский, 2001], С.Н. Новоселов в эксперименте установил влияние световой энергии на изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы [Новоселов, 2021], а международной исследовательской группой лаборатории экофизиологии растений был выявлен эффект воздействия увеличения светового потока в весенний период на ускорение листопада в широколиственных лесах Восточного побережья США и прибрежных районах Англии, Дании и др. европейских странах [Delpierre et al., 2023]. Однако проследить влияние добавленной световой энергии на всю ландшафтную систему – непростая задача будущих междисциплинарных исследований. Для уточнения полученных данных необходимы длительные натурные наблюдения ландшафтов в начале и конце вегетационного периода и определение фоточувствительных видов биоты, исследования изменений геоморфологических и почвенных процессов и т.д.

4.3. Влияние светового загрязнения на эстетику ландшафтов заказника

В разделе 4.1. была рассмотрена одна из целей посещения природного заказника «Воробьевы горы» рекреантами – наслаждение эстетикой природы, вызывающее чувство умиротворения и спокойствия. Заказник имеет удобное месторасположение недалеко от центра города и хорошую транспортную доступность, что делает его одним из наиболее популярных природных аттракторов для желающих отдохнуть на природе горожан. Заказник, несмотря на частичную трансформацию ландшафтов, по-прежнему сохранил естественный природный вид на большей части территории. Однако вскоре после захода Солнца природные эстетические свойства ландшафтов «нарушаются» ландшафтным освещением, установленным с целью коррекции визуальной среды. Подобное освещение для парков не ново, оно является модной эстетической инновацией, которой пользуются во многих странах мира, однако нет упоминаний, что подобное освещение функционирует на территориях с природоохранным статусом.

Поскольку эстетика природного пейзажа определяется субъективно и воспринимается лишь человеком, способным воспринять и осмыслить ее, то для оценки влияния искусственного освещения на нее необходимо обратиться к социологическим методам, позволяющим учитывать различие вкусов, уровня образования, мировосприятия, культурных традиций различных людей. В ландшафтной эстетике подобные методы относятся к субъективистским. В числе таких методов гештальт-оценка пейзажных образов и социологическое анкетирование [Николаев, 2005]. В то же время возможно использование объективных показателей: глубины пейзажной

перспективы, красочности/многоцветности, многоплановости пейзажа и др., хорошо известных из живописи. В настоящем исследовании мы воспользовались этими методами.

Однако прежде выделим некоторые наиболее эстетически привлекательные пейзажи Воробьевых гор и обозначим их особенности.

4.3.1. Оценка эстетики пейзажей заказника

Известно, что горожане предпочитают посещать крупные парки с большим количеством культурных/информационных экосистемных услуг – как рекреационных, так и эстетических [Wang et al., 2021; Hanif et al., 2023]. Исследования показывают, что зеленые насаждения в центрах городов, характеризующихся высокой плотностью застройки и населения, богаты преимущественно социально ориентированными культурными экосистемными услугами (рекреационные, формирование чувства места и др.), в то время как зеленые насаждения в пригородных районах с низкой плотностью застройки, как правило, богаты «приодоориентированными» культурными экосистемными услугами (опыт единения с природой, просветительский, эстетический и духовный опыт, вдохновение) [Rall et al., 2017; Palliwoda, Priess, 2021]. Природный заказник «Воробьевы горы» предлагает все перечисленные культурные/информационные экосистемные услуги, среди которых особое место занимают эстетические.

Эстетическая ценность ландшафтов Воробьевых гор складывается из нескольких природных факторов: сложного и уникального рельефа с большими перепадами высот, разнообразия ландшафтов (равнинных, склоновых, пойменных и пр.), наличия водных объектов, видового разнообразия растений и животных и т.п. Эти ландшафтные характеристики являются элементами пейзажной композиции, объединенными и формирующими естественный природный пейзаж, обусловленный гармоническими законами природы [Николаев, 2005]. В то же время на территории заказника имеются искусственные сооружения – мачты освещения и связывающие их воздушные провода, световые гирлянды, опутывающие деревья, заборы, баннеры и т.п. – источники визуального загрязнения, нарушающие эстетику природных ландшафтов Воробьевых гор [Лукьянов, Красовская, 2024]. При оценке эстетической привлекательности ландшафта оцениваются его визуальные качества, т. е. видимая картина, которую образует природно-территориальный комплекс. Поэтому с точки зрения восприятия и эстетичности следует рассматривать именно *пейзаж* как видимое, зримое пространство [Дирин, 2005].

Для эстетической оценки пейзажей на территории заказника были выбраны 8 локаций, пейзажи которых типичны для заказника. Выбор осуществлялся путем гештальт-оценки, т.е. оценивался целостный образ местности и его потенциальная эстетическая ценность. Были выбраны слабо затронутые антропогенной трансформацией участки леса, экологические тропы, водные объекты, не разрушающие пейзажной картины сооружения (футбольная площадка, беседки) и пр. На выбранных локациях были сделаны фотографии (рис. 4.3.1), эстетические свойства выбранных пейзажей были охарактеризованы.



1. Лес к западу от Остроумовского родника



2. Экологическая тропа к северо-востоку от Храма Троицы Живоначальной



3. Поле для мини-футбола



4. Спуск от детской площадки к Воробьевской набережной



5. Воробьевская набережная (вид на р. Москву)



6. Экологическая тропа вдоль Андреевской набережной



7. Подъем от Андреевской набережной к Андреевским прудам



8. Большой Андреевский пруд

Рис. 4.3.1. Эстетически ценные пейзажи в природном заказнике «Воробьевы горы», установленные путем гештальт-оценки. Фото автора.

Поскольку эстетичность ландшафта формируется благодаря упорядоченности его структуры в пространстве, и упорядоченность эта может быть оценена объективно, в целях подтверждения ценности выбранных локаций нами был проведен структурно-информационный анализ путем сравнения объективных критериев эстетичности пейзажей (объективистский метод) [Эрингис, 1975; Дирин, 2005; Лукьянов, Маркова, 2023]. При проявлении каждого из этих критериев (табл. 4.3.1) в оцениваемом пейзаже ему присваивался сравнительный балл. Набор критериев при этом был адаптирован к местным ландшафтным условиям. Суммарная оценка каждого из выбранных пейзажей определяла его положение в шкале эстетических ценностей территории (табл. 4.3.2).

Табл. 4.3.1. Система балльной оценки эстетической ценности пейзажей

№	Оценочные показатели эстетичности пейзажа		Баллы
1	Разнообразие структурно и вещественно разнородных элементов в пейзаже	2–3 элемента	0
		3–5 элементов с преобладанием 1–2	1
		5–7 элементов с преобладанием 3–4	2
		Более 7 элементов с преобладанием 3–4	3
		Более 7 элементов с одинаковым весом каждого	2
2	Цветовая гамма (балл за каждый цвет умножается на процент его площади в пейзаже)	Черный	1
		Темно-серый	2
		Светло-серы, коричневый	3
		Темно-зеленый	4
		Светло-зеленый	5
		Голубой, желтый	6
		Белый, розовый	7
		Фиолетовый	8
		Синий, оранжевый, красный	9
		Бирюзовый	10
3		Отсутствуют	0

	Наличие и количество композиционных узлов и осей	1	1
		2–3	2
		4–5	3
		6–7	2
		8–10	1
		Более 10	0
		Есть композиционная ось	+2
4	Наличие пейзажных кулис	Нет	0
		С одной стороны	1
		С двух сторон	2
5	Глубина и разнообразие перспективы	Ближняя	0
		Ближняя и средняя	1
		Ближняя, средняя и дальняя	2
		Ближняя и дальняя	1
6	Сохранившийся естественный растительный покров, %	0	0
		1–15	1
		16–30	2
		31–60	3
		61–85	2
		Более 85	1
7	Наличие и обилие водных поверхностей	Отсутствуют	0
		Различимы в дальней перспективе	1
		В средней перспективе	2
		В ближней перспективе	3
		Обилие (более 50%)	1
8	Антропогенная трансформация пейзажей	Условно неизменный (нет следов трансформации)	3
		Мало измененный (незначительные следы антропогенной деятельности)	0
		Нарушенный пейзаж (деструктивные элементы антропогенной деятельности)	-5
		Культурные ландшафты	1

Табл. 4.3.2. Балльная оценка эстетической ценности выбранных пейзажей

№	Оценочный показатель эстетичности пейзажа	Фото							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Разнообразие структурно- и вещественно разнородных элементов в пейзаже	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Цветовая гамма	4	4	3	3	6	4	4	5
3	Наличие и количество композиционных узлов и осей	0	2	3	2	2	2	2	0
4	Наличие пейзажных кулис	0	2	0	2	1	2	2	2
5	Глубина и разнообразие перспективы	0	1	1	1	2	1	0	1
6	Сохранившийся естественный растительный покров	2	1	2	3	1	2	2	3
7	Наличие и обилие водных поверхностей	0	0	0	0	3	0	0	3
8	Антропогенная трансформация пейзажей	3	0	-5	0	-5	0	0	1
Всего		9	10	4	11	10	11	10	15

На основании проведенных подсчетов наиболее эстетически ценным пейзажем является пейзаж Андреевского пруда (фото 8), за ним следуют пейзажи экологической тропы вдоль Андреевской набережной (фото 6), спуска к Воробьевской набережной (фото 4). Наличие антропогенных нарушений («запечатанная» набережная, тросы канатной дороги, строения на заднем плане) снизили эстетическую ценность пейзажа Воробьевской набережной с видом на р. Москву. Наименее эстетически ценным пейзажем среди выбранных типичных локаций является вид футбольной площадки.

Помимо объективистского метода оценки эстетических свойств ландшафта, воспользуемся и субъективистским методом – анкетированием, используя при этом методику проведения социологических исследований, адаптировав ее для решения наших задач [Добренков, Кравченко, 2006]. В рамках нашего исследования на территории заказника «Воробьевы горы» с 22 августа по 5 октября 2022 г. был проведен социологический опрос, в ходе которого было опрошено 128 респондентов. Основные демографические показатели выборки представлены в табл. 4.3.3.

Табл. 4.3.3. Демография выборки исследования

Пол	Мужчины n = 69; 54%	Женщины n = 59; 46%
Возраст	До 20 лет – 16; 13%	50–59 лет – 9; 7%
	20–29 лет – 38; 30%	60–69 лет – 4; 3%
	30–39 лет – 28; 22%	От 70 лет – 7; 6%
	40–49 лет – 24; 19%	
Доля жителей Москвы от общего числа опрошенных	85%	

В ходе опроса в числе прочих вопросов респондентам было предложено выбрать из восьми представленных фотографий три наиболее эстетически привлекательных пейзажа. Результаты опроса показали, что наиболее привлекательными являются пейзаж Андреевского пруда (фото 8; 100 респондентов), вид с набережной на р. Москву (фото 5; 81 респондент) и пейзаж экологической тропы на склоне Воробьевых гор (фото 2; 69 респондентов). Таким образом, наличие водной поверхности действительно повышает эстетическую привлекательность пейзажа, но интересно, что присутствие в пейзаже антропогенных объектов не смущало респондентов при выборе этого варианта. Возможно, это связано с тем, что городские жители адаптировались к таким элементам пейзажей. Также для всех трех пейзажей характерна большая глубина перспективы.

Интересно отсутствие различий в предпочтениях по половому признаку – и мужчины, и женщины одинаково выбирали наиболее эстетически привлекательные пейзажи (рис. 4.3.2).

Явные различия в возрастных предпочтениях также не наблюдаются, однако интересно отметить, что лица старше 50 лет реже молодых выбирали пейзаж «запечатанной» набережной (фото 5) и лестницу к Андреевским прудам (фото 7) и чаще выбирали пейзаж экологической тропы с кулисами (фото 6).

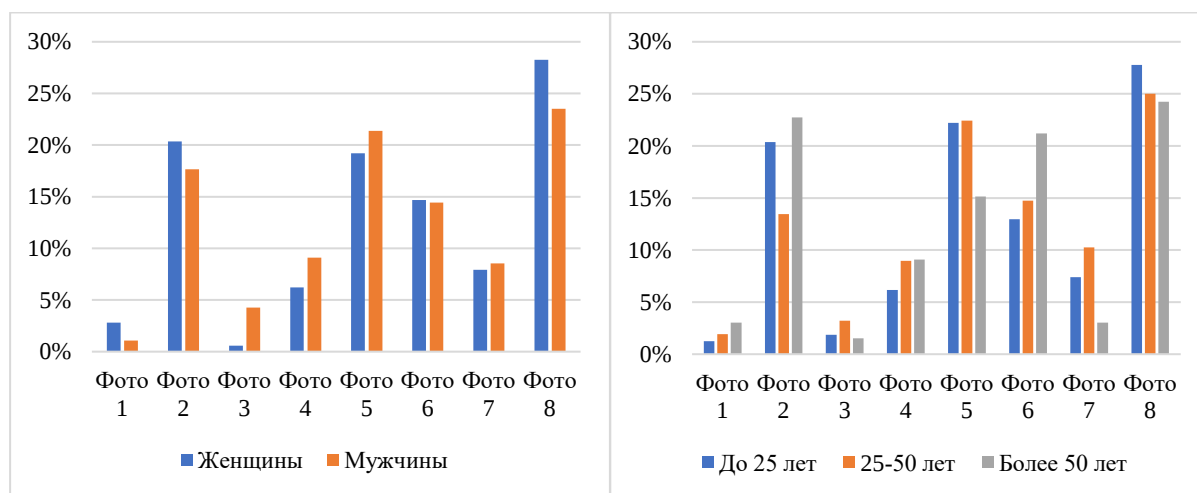


Рис. 4.3.2. Половые и возрастные предпочтения в выборе наиболее эстетически привлекательных пейзажей

Сведя воедино результаты балльной оценки и социологического опроса, разделим восемь исследуемых пейзажей на три категории: наиболее привлекательные (фото 2, 5, 6, 8), средне-привлекательные (фото 4 и 7) и наименее привлекательные (фото 1 и 3) (табл. 3.4.4).

Табл. 4.3.4. Ранжирование пейзажей по результатам балльной оценки и социологического опроса

	Наиболее привлекательные				Средне-привлекательные		Наименее привлекательные	
	8	6	5	2	4	7	3	1
Балльная оценка	15	11	10	10	11	10	4	9
Доля респондентов, выбравших пейзаж (в числе прочих)	78%	45%	63%	54%	23%	24%	7 %	5 %

Полученные данные подтверждают обоснованность выбранных локаций, характеризующих эстетику ландшафтов заказника, хотя приведенные данные не претендуют на полноту оценок эстетической привлекательности всей территории и могут рассматриваться как первичные.

4.3.2. Изучение восприятия светового загрязнения посетителями заказника

Восприятие светового загрязнения населением является одним из наименее изученных аспектов всей проблемы светового загрязнения. Контент-анализ форумов, проводимый в течение всего периода исследований, выявил почти полное безразличие населения к этой теме, за исключением тех случаев, когда искусственное освещение целенаправленно било в окна жилых зданий. Это может быть связано с несколькими причинами. Свет на урбанизированных территориях воспринимается как элемент безопасной среды обитания, поэтому рост освещенности не вызывает вопросов у населения, а защита ночного звездного неба не является приоритетной задачей при планировании городского освещения. Играет свою роль и недостаточная осведомленность населения самой проблемой светового загрязнения и теми негативными последствиями, которые оно несет для здоровья человека и благополучия экосистем.

Удивительно почти полное отсутствие исследований, посвященных восприятию светового загрязнения. В одном из исследований, проведенном в Финляндии, сообщается, что световое загрязнение считается неудобством для отдыха на природе, причем более половины респондентов сообщают о снижении качества жизни в их районах из-за светового загрязнения [Lyytimäki, Rinne, 2013]. В другом исследовании, проведенном в Ирландии, исследуется воспринимаемое населением воздействие искусственного ночного освещения на животных. Респонденты выразили скептическое отношение к утверждениям о влиянии искусственного освещения на птиц, насекомых, летучих мышей и пр., но согласились с утверждением о негативном влиянии света на качество сна [Coogan et al., 2020]. Подобные исследования в России не проводились.

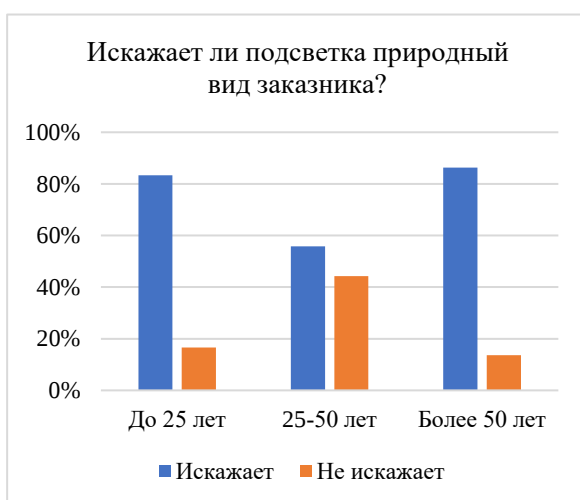
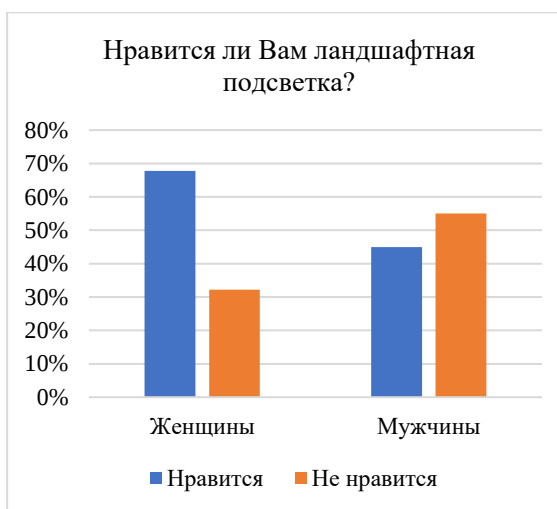
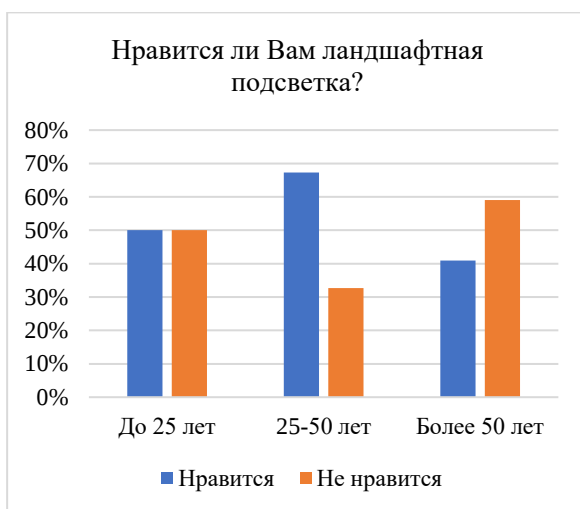
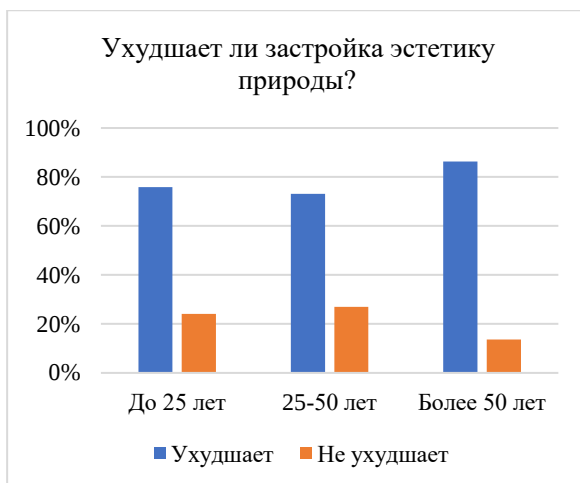
В ходе вышеупомянутого опроса респондентам были заданы вопросы о целях посещения заказника, общем понимании статуса территории, о влиянии антропогенных нарушений на эстетику природы, о понимании негативного воздействия светового загрязнения на живые организмы, об отношении к эстетичности ландшафтного освещения и т.д. (анкета приведена в Приложении 3). Результаты опроса показали, что:

- 71% респондентов посещают заказник «Воробьевы горы» с целью прогулок на природе;
- 56% респондентов знают, что «Воробьевы горы» являются особо охраняемой природной территорией;
- 77% респондентов считает, что объекты визуального загрязнения (строения, опоры, заборы и т.п.) ухудшают эстетику природы;

- 55% респондентов заявляет, что им нравится ландшафтное освещение, однако 73% респондентов считает, что оно искажает естественный природный вид заказника;
- 68% респондентов не знают о негативном влиянии ландшафтного освещения на птиц;
- 55% респондентов выступает за то, чтобы ландшафтное освещение работало только по праздникам.

Интересно рассмотреть особенности ответов на вопросы в зависимости от пола и возраста респондентов (рис. 4.3.3). На вопрос «*Нравится ли Вам ландшафтная подсветка?*» большинство утвердительных ответов получено от лиц среднего возраста (25–50 лет). Лица старшего возраста (более 50 лет) отвечали скорее отрицательно, а ответы лиц младшего возраста (до 25 лет) распределились одинаково между положительными и отрицательными. На вопрос «*Искажает ли подсветка природный вид заказника?*» лица младшего и старшего возрастов давали резко положительные ответы, в то время как треть лиц среднего возраста дала отрицательный ответ. На вопрос «*Знаете ли Вы о негативном влиянии ландшафтной подсветки на птиц?*» лица младшего и среднего возраста отвечали отрицательно, в то время как лица старшего возраста давали положительные ответы (хоть и в формате предположений). Таким образом, можно сделать вывод о том, что лица среднего возраста (от 25 до 50 лет) недостаточно осведомлены о проблеме светового загрязнения и не обладают достаточными экологическими знаниями/опытом, нежели лица старшего и младшего возрастов. Первые, очевидно, привыкли к естественному природному виду заказника и не воспринимают эстетические нововведения, направленные на «коррекцию» визуальной среды, а вторые обладают большей экологической осознанностью, чем поколение, рожденное в 1972–1997 гг.

Различия в ответах по половому признаку незначительные. И мужчины, и женщины всех возрастных групп единогласно считают, что застройка ухудшает эстетику природы, что подсветка нарушает естественный природный вид заказника, а также не знают о негативном влиянии ландшафтного освещения на птиц. Однако ландшафтное освещение нравится женщинам чуть больше, чем мужчинам.



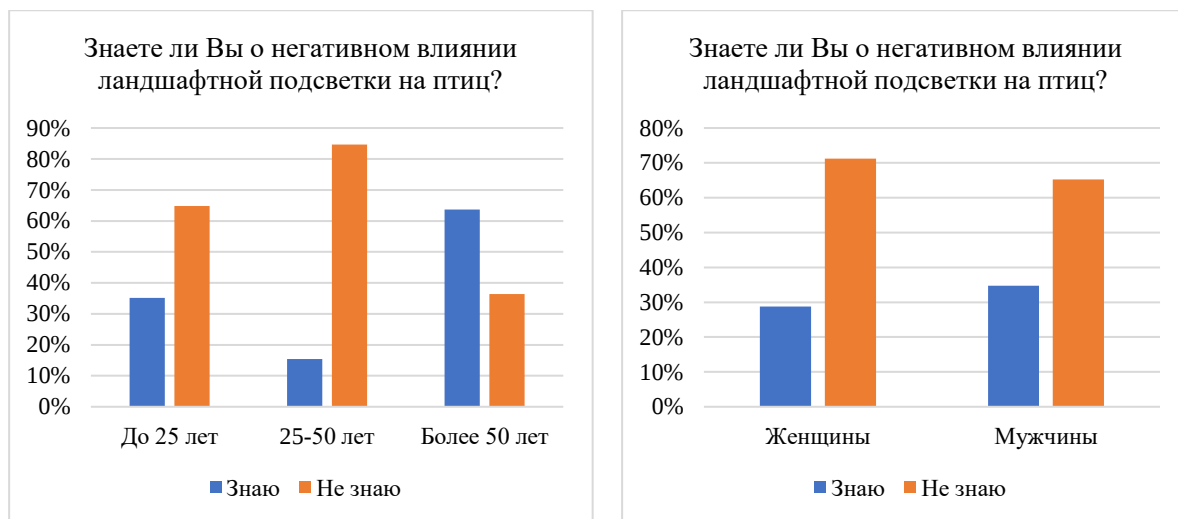


Рис. 4.3.3. Половые и возрастные различия в ответах на вопросы

На вопрос «Считаете ли Вы достаточным уровень освещения в заказнике по вечерам?» 62% респондентов затруднилось ответить ввиду того, что они не посещают заказник в вечернее и ночное время. 17% респондентов считает уровень искусственного освещения в заказнике недостаточным. В открытом вопросе «Ваши предложения по развитию инфраструктуры заказника» лишь 5 респондентов высказали предложение демонтировать ландшафтное освещение, что говорит в целом об отсутствии понимания проблемы светового загрязнения и его последствий у населения.

Таким образом, проведенные гештальт-оценка, структурно-информационный анализ и анкетирование позволили выявить наиболее ценные эстетические свойства ландшафтов Воробьевых гор, подвергающихся визуальному и световому загрязнению, которое только интуитивно оценивается рекреантами, а зачастую ими вовсе не воспринимается.

Глава 5. Пути решения проблемы светового загрязнения в природном заказнике «Воробьевы горы»

Как мы убедились ранее (см. раздел 3.2), природоохранный статус лишь отчасти защищает городские ООПТ от растущего негативного светового воздействия на их территории. Поэтому пути решения проблемы светового загрязнения в них должны лежать в области совершенствования нормативного и экономического регулирования, а также экологического просвещения.

В настоящей главе мы рассмотрим возможные пути решения этой проблемы для природного заказника «Воробьевы горы»: *институциональные, экономические и технические*. Отдельно можно выделить и *просветительские приемы*, направленные на повышение экологической культуры в области светового загрязнения. В настоящем исследовании мы не рассматриваем их подробно, т.к. они должны быть направлены скорее на население в целом, а не адресно на посетителей природного заказника. Тем не менее просветительская деятельность в области светового загрязнения и донесение до общественности потенциальных рисков его воздействия представляется нам обязательным условием борьбы с ним как необходимое условие по обеспечению безопасности жизнедеятельности.

5.1. Институциональные методы регулирования светового загрязнения

Несмотря на то, что искусственное освещение существует по меньшей мере полтора столетия, проблема светового загрязнения известна лишь на протяжении нескольких последних десятилетий, из которых экологический аспект активно изучается лишь с 2000-х гг. Науке до сих пор неизвестны все возможные негативные эффекты его воздействия на живые организмы и экосистемы. Тем не менее световое загрязнение с каждым годом распространяется по миру все сильнее, световыми куполами покрывая всё больше территорий. По этой причине борьба со световым загрязнением должна стать важной частью экологической политики на всех уровнях: от государственного до муниципального.

В настоящее время инициатив по борьбе со световым загрязнением в странах мира очень мало. Первой страной, где распространение избыточных световых потоков было ограничено законодательно, стала Чехия. В 2002 г. там был принят «Закон о защите атмосферы», согласно которому граждане и организации были обязаны принимать меры по предотвращению возникновения светового загрязнения⁴⁵. Главным механизмом реализации должно было стать

⁴⁵ New Czech Republic national law prohibits light pollution / SpaceNews [Electronic resource]. – URL: <https://spacenews.com/new-czech-republic-national-law-prohibits-light-pollution/> (Date of access: 11.10.2020)

использование полностью экранированных уличных светильников. Однако в 2012 г. этот закон был отменен по причине игнорирования общественностью.⁴⁶ В 2017 г. световое загрязнение снова вернулось в законодательную повестку – Министерством окружающей среды было начато исследование проблемы и поиск возможных ее решений. На основе полученных результатов сначала были введены поправки в закон об ООПТ, запрещающие установку неэкранированных источников света в национальных парках, а впоследствии, с марта 2023 г. – закон о световом загрязнении⁴⁷. Согласно нему, все новые государственные и частные строительные проекты обязаны строго соответствовать установленным требованиям к освещенности. С 2017 г. снижение светового загрязнения при обновлении систем освещения в муниципалитетах и ООПТ стало обязательным условием для получения финансовой поддержки из фондов, находящихся в ведении Министерства окружающей среды. 26 октября 2022 г. в Брно состоялся семинар «Световое загрязнение 2022», в котором приняли участие члены многих европейских правительств для обсуждения создания более строгих европейских стандартов освещения. Итогом конференции стал «Брненский призыв к сокращению светового загрязнения в Европе» – документ, в котором изложены конкретные правила освещения, которые участники обязуются исполнять.

По новым же требованиям чешского законодательства⁴⁸:

- Светильники должны быть направлены строго вниз, за исключением архитектурно-художественной подсветки фасадов;
- Архитектурно-художественная подсветка фасадов должна устанавливаться таким образом, чтобы не более 10% светового потока направлялось за пределы контура освещаемого архитектурного элемента;
- Средняя освещенность фасада освещаемого здания не должна превышать 2 лк в центре города и 1 лк в жилых районах и в сельской местности. Такие же значения допустимой освещенности установлены для засветки окон жилых зданий.
- Если же засветка жилых окон при планировании освещения неизбежна, то должно обязательно учитываться мнение жителей, а риски для здоровья должны быть обязательно доведены до них.

⁴⁶ Берегите свет / Radio Prague International [Электронный ресурс]. – URL: <https://ruski.radio.cz/beregite-noch-8547644> (дата обращения: 11.10.2020)

⁴⁷ New Regulations to Limit Light Pollution Come into Effect In March / Prague Morning [Electronic resource]. – URL: <https://praguemorning.cz/new-regulations-to-limit-light-pollution-come-into-effect-in-march/> (Date of access: 18.08.2024)

⁴⁸ Jednoduchá osvětlovací příručka pro obce. Doporučení pro šetrné moderní osvětlování. Ministerstvo životního prostředí a Svaz měst a obcí České republiky. 2017. 16 с.

- Допустимо использование источников света, излучающих свет с длиной волны до 500 нм (т.е. исключается свет зеленого, желтого, оранжевого и красного цвета), либо с цветовой температурой не более 3000 К (т.е. исключен холодный белый свет);
- Освещенность дорог не должна превышать минимально допустимые значения освещенности более чем на 30%.

Чешское законодательство по борьбе со световым загрязнением не единственное в мире. Подобные, хоть и менее подробные, законы были приняты в и других странах.

В Испании в 1992 г. был принят закон «Об охране астрономических обсерваторий на Канарских островах», а в 2001 г. в Каталонии были введены меры по экологическому регулированию освещения в целях защиты ночных экосистем. Территория региона была разбита на 4 типа охранных зон в зависимости от уязвимости среды к световому загрязнению – от зоны E1 (ООПТ, охранные участки Natura 2000) до зоны E4 (территории городских поселений). Для каждой зоны при этом установлены разные требования по максимально допустимой освещенности – от 2 до 15 лк соответственно с длиной волны светового потока до 440 нм⁴⁹.

В 15 областях Италии действуют законы, ограничивающие установку светильников, излучающих свет вверх, наложены ограничения на освещение исторических зданий – не более 15 лк⁵⁰. Однако законы считаются малоэффективными и устаревшими: отмечается отсутствие контроля за темпами снижения интенсивности светового загрязнения, в законах не учитывается негативное воздействие синего цвета и пр. [Falchi, 2021].

В 2007 г. в Словении был принят закон, в котором четко прописаны требования к наружному освещению⁵¹. Так, направленные вверх светильники должны быть экранированы, муниципалитеты не должны превышать лимит в 44,5 кВт·ч на душу населения по потреблению энергии на освещение, а освещенность фасадов зданий не должна превышать 2 лк. В числе прочих правил интересен запрет освещать входы в места гнездования летучих мышей.

В то время как итальянские и словенские правила сосредоточены в основном на наружном освещении, французский закон о световом загрязнении от 2013 г. распространяется на внутреннее освещение. Так, внутреннее освещение предприятий (в т.ч. витрин) должно быть выключено

⁴⁹ Lighting regulations for the protection of the night environment / Luxes [Electronic resource]. – URL: <https://luxes.es/lighting-regulations-for-the-protection-of-the-night-environment> (Date of access: 18.08.2024)

⁵⁰ Laws against light pollution in Italy [Electronic resource]. – URL: <http://www.lightpollution.it/cinzano/en/page95en.html> (Date of access: 18.08.2024)

⁵¹ Slovene Light Pollution Law – adopted on 30 August 2007. An unofficial, shortened summary of the final version (prepared by Andrej Mohar on 9 September 2007) [Electronic Resource]. – URL: <http://www.temnonebo.si/wp-content/uploads/2019/09/si-lplaw-technicalpart.pdf> (Date of access: 18.08.2024)

через час после ухода последнего сотрудника, а наружное освещение должно быть выключено между 01:00 и 07:00 утра⁵².

Законодательство в области борьбы со световым загрязнением хорошо развито в США. К 2021 г. в 19 штатах было принято 40 законопроектов, касающихся защиты ночного неба⁵³. Большинство законов ограничивает работу уличных осветительных приборов, установленных на территории зданий или на дорогах. Наиболее распространенным требованием законов является установка экранированных светильников, излучающих свет только вниз. Другие законы требуют использования светильников низкой мощности и устанавливают количество времени, в течение которого освещение может использоваться. В 2015 г. в штате Нью-Йорк власти приняли участие в инициативе «New York State Lights Out Initiative», целью которой является снижение светового загрязнения, создающего помехи перелетным птицам во время миграций. На зданиях, находящихся в собственности властей штата, и на прилежащих к ним территориях, избыточное освещение отключается с 23:00 до рассвета в период пика миграции птиц — с 15 апреля по 31 мая и с 15 августа по 15 ноября⁵⁴.

Нормирование освещения в России затрагивается в нескольких документах. Так, СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» устанавливает нормы естественного, искусственного и совмещенного освещения зданий и сооружений, мест производства, улиц и дорог⁵⁵; СанПиН 2.2.1.-2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»⁵⁶ и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий»⁵⁷ устанавливают санитарно-эпидемиологические требования освещения жилых и общественных зданий и территорий жилой застройки.

⁵² Arrêté du 25 janvier 2013 relatif à l'éclairage nocturne des bâtiments non résidentiels afin de limiter les nuisances lumineuses et les consommations d'énergie. JORF n°0025 du 30 janvier 2013 [Electronic resource]. – URL: <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000027003910> (Date of access: 18.08.2024)

⁵³ States Shut Out Light Pollution / NCSL [Electronic resource]. – URL: <https://www.ncsl.org/environment-and-natural-resources/states-shut-out-light-pollution> (Date of access: 18.08.2024)

⁵⁴ Governor Cuomo Announces Lights Out New York Initiative to Protect Migratory Birds. [Electronic resource]. – URL: <https://www.governor.ny.gov/news/governor-cuomo-announces-lights-out-new-york-initiative-protect-migratory-birds> (Date of access: 11.10.2020)

⁵⁵ Свод правил СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение". Актуализ. редакция СНиП 23-05-95 : дата введения 2017-05-08 / Федеральное агентство по техническому регулированию. - Изд. официальное. - Москва : Стандартинформ, 2018. - 121 с.

⁵⁶ Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий : дата введения 2003-06-15 / Министерство здравоохранения РФ. 15 с.

⁵⁷ Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01. Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий : дата введения 2002-02-01 / Министерство здравоохранения РФ. 7 с.

В первом из документов содержатся нормы освещенности для входов в городские парки (не менее 6 лк) и их центральных и боковых аллей (не менее 2 лк). Это единственные нормы освещенности для природных территорий, расположенных в пределах районов городской застройки. Нормирование освещенности на территории ООПТ в таких документах отсутствует по очевидной причине – наличие природоохранного статуса должно исключать наличие в пределах ООПТ какого-либо светового загрязнения. Однако современные реалии, в которых в городских ООПТ устанавливаются системы освещения, заставляют задуматься о необходимости регулирования уровня освещенности в ООПТ на институциональном уровне.

Статья 30 закона г. Москвы «Об особо охраняемых природных территориях в городе Москве» гласит, что на ООПТ не допускаются, в числе прочего, искажения исторически сложившегося охраняемого ландшафта и нарушение местообитаний видов растений и животных, включенных в Красную книгу Москвы⁵⁸. Однако именно это происходит в результате работы ландшафтного освещения на территории заказника «Воробьевы горы». В постановлении Правительства Москвы «О мерах по развитию территорий Природного комплекса Москвы» сказано о запрете любой деятельности, которая противоречит целям создания ООПТ или может причинить вред объектам живой и неживой природы, а также о запрете нарушения почвенного покрова и земляных работ – последние проводились на территории заказника во время установки опор ландшафтного освещения⁵⁹.

Негативные последствия избыточного светового воздействия на природную среду упоминаются в постановлении Правительства Москвы «Об утверждении Правил создания, содержания и охраны зеленых насаждений и природных сообществ города Москвы»: *«дополнительное освещение растений в ночное время обуславливает изменения экологической среды города...»*⁶⁰. Там же звучит запрет подвешивать на деревьях электропровода и электрические гирлянды. Это требование также нарушается на территории природного заказника.

Задач по снижению интенсивности светового загрязнения пока не ставится не только на уровне государства, но и на уровне столицы, которая, казалось бы, старается следовать современным мировым трендам в благоустройстве территорий. Так, в программе развития

⁵⁸ Закон города Москвы N 48 от 21 сентября 2001 года «Об особо охраняемых природных территориях в городе Москве». 20 с.

⁵⁹ Постановление Правительства Москвы от 21 июля 1998 г. № 564 О мерах по развитию территорий Природного комплекса Москвы [Электронный ресурс]. – URL: <https://gosthelp.ru/text/Postanovlenie564Omeraxpor.html> (дата обращения: 08.11.2021)

⁶⁰ Постановление Правительства Москвы N 743 от 10 сентября 2002 г. «Об утверждении правил создания, содержания и охраны зеленых насаждений города Москвы». 181 с.

«Москва – город, удобный для жизни» освещение упоминается только в контексте улучшения уличного освещения на детских и спортивных площадках, вдоль пешеходных дорожек, а также в целях совершенствования наружного освещения и развития архитектурно-художественной подсветки в рамках концепции единой цветоцветовой среды⁶¹.

Таким образом, очевидна необходимость регулирования светового загрязнения в городских ООПТ. Необходимо понимать, что подобные территории в той или иной степени посещаются людьми, поэтому полное погружение их «во тьму» невозможно ввиду необходимости обеспечения безопасности населения. Поэтому важно четко отделять уличное освещение (жизненно необходимое в пределах городов) и ландшафтное освещение, устанавливаемое на территориях с природоохранным статусом вопреки экологическому законодательству. Что касается уже функционирующих систем освещения, их судьба должна решаться с учетом мнения населения, которое может относиться к такому освещению позитивно. Это в свою очередь поднимает вопрос экологической культуры населения, его культурных предпочтений и отношения к новомодным веяниям корректировки визуальной среды, когда естественные природные пейзажи целенаправленно искажаются световыми потоками. Следовательно, вопрос о допустимости светового загрязнения на территориях городских ООПТ должен решаться с помощью поиска компромиссных решений.

5.2. Экономические методы регулирования светового загрязнения

Как было упомянуто в разделе 1.1, световое загрязнение оказывает неблагоприятное воздействие не только на здоровье людей и функционирование экосистем, но и на экономику. Избыточное и ненужное освещение закономерно приводит к необоснованным затратам на электроэнергию, для выработки которой необходимо использование часто ограниченных природных ресурсов.

Решение проблемы светового загрязнения на примере природного заказника «Воробьевы горы» может лежать и в экономической плоскости. Так, интенсивность ландшафтного освещения может быть снижена, если, например, затраты на электроэнергию, потребляемую системами освещения, окажутся неоправданно высокими.

Рассчитаем количество электроэнергии, затрачиваемое в природном заказнике при работе ландшафтного освещения. При известной мощности прожектора, равной 163 Вт, количество электроэнергии, затраченной за один час работы на территории всего заказника, составит 1956

⁶¹ Программа развития Москвы «Москва – город, удобный для жизни». Правительство Москвы. 2014. 169 с.

кВт·ч. Средняя цена (тариф) за 1 кВт·ч для исполнителей коммунальных услуг в 2024 г. составляет 6,71 руб.⁶² Таким образом, час работы ландшафтного освещения стоит 13,1 тыс. руб. (следовательно, одна минута стоит 218,7 руб.). Зная посуточное время работы ландшафтного освещения в течение года, получим стоимость затраченной за год электроэнергии, равную 24,4 млн руб. За один год работы количество электроэнергии, затраченное ландшафтным освещением, составит 3644,6 МВт·ч. Такое же количество электроэнергии за 6 часов выработает московская ТЭЦ-12 на Бережковской набережной, расположенная в километре от природного заказника. Таким образом, можно сделать вывод, что ландшафтное освещение заказника занимает крайне незначительную долю электроэнергии в общей выработке электроэнергии Московским регионом (около 0,0085%).

Интересно отметить, что на работу ландшафтного освещения, «призванного подчеркнуть *ценность* природного заказника»⁶³ за год тратится сумма в 4 раза бóльшая, чем то, как действительно оценивается стоимость этой ООПТ по кадастру вместе с его подчеркнутой «ценностью», создаваемой ландшафтным освещением. При этом ландшафтное освещение сильно снижает ценность природных ландшафтов, негативным образом воздействуя на многие экосистемные функции (см. раздел 4.1).

В ходе социологического опроса (см. раздел 4.3), в числе прочих вопросов, респондентам задавался вопрос со множественным выбором «*Когда нужно включать ландшафтную подсветку: постоянно или временно (по праздникам / выходным / в определенные часы)?*». Результаты представлены на рис. 5.2.1, среди ответов лидирует вариант «*По праздникам*».



Рис. 5.2.1. Ответы на вопрос о необходимом режиме работы ландшафтного освещения

⁶² Приказ № ДПР-ТР-188/23 от 28 ноября 2023 г. «Об установлении цен (тарифов) на электрическую энергию для населения и приравненных к нему категорий потребителей города Москвы на 2024 год». Правительство Москвы: Департамент экономической политики и развития города Москвы. 28 с.

⁶³ Проект ландшафтной подсветки намерены разработать для Бульварного кольца и Воробьевых гор / Агентство городских новостей «Москва» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mskagency.ru/materials/2644206> (дата обращения: 18.08.2024)

Рассчитаем количество электроэнергии, которое можно будет сэкономить при различных режимах работы ландшафтного освещения. Условимся считать количество праздничных дней по соответствующему постановлению Правительства⁶⁴, а выходные дни – как общее число суббот, воскресений и праздничных дней с учетом переносов выходных. Под формулировкой «*В определенные часы*» условимся считать, что ландшафтное освещение будет выключено не в полночь, а в 23:00 или в 22:00⁶⁵.

Как упоминалось в разделе 1.2, световое загрязнение способно отодвигать даты начала и конца вегетационного периода растений суммарно на период от 2 до 5 недель. Если мы ставим задачу минимизировать воздействие ландшафтного освещения на даты наступления этих фаз, то нам следует заблаговременно до их начала отключить ландшафтное освещение и не включать до тех пор, когда прохождение фаз не начнется при естественном освещении. Если начало вегетационного периода приходится в Москве на конец апреля, то следует отключить ландшафтное освещение как минимум за две недели до этого. Аналогичным образом следует отключить ландшафтное освещение за две недели до начала октября для того, чтобы деревья смогли адаптироваться к естественным условиям освещенности и листопад начался по природным ритмам. Поэтому рассчитаем стоимость затраченной электроэнергии для постоянного режима работы, из которого исключены по 2 недели до начала и до конца вегетационного периода, характерного для Москвы. Иными словами, «выключим» ландшафтное освещение в период с 13 апреля по 27 апреля и в период с 17 сентября по 01 октября. Результаты расчетов представлены в табл. 5.2.1.

Табл. 5.2.1. Стоимость затраченной электроэнергии при различных режимах работы ландшафтного освещения

Режим работы		Время работы освещения (минуты / дни*)	Стоимость затраченной электроэнергии, руб.
Ежедневно		111798 / 365	24 450 222,6
По праздникам		9762 / 28	2 134 949,4
По выходным		36663 / 118	8 018 198,1
В определенные часы	До 23:00	89898 / 365	19 669 692,6
	До 22:00	67998 / 365	14 871 162,6
Постоянно, с вычетом периодов отключения перед началом и концом вегетационного периода		103954 / 337	22 734 739,8
*Под днями подразумеваются не солнечные сутки, а количество календарных дней в году, в которые ландшафтное освещение будет функционировать			

⁶⁴ Постановление Правительства Российской Федерации № 1314 от 10 августа 2023 г. «О переносе выходных дней в 2024 году»

⁶⁵ Это представляется логичным, т.к. в ночные часы количество посетителей заказчика резко снижается.

Таким образом, в зависимости от выбранного режима работы ландшафтного освещения можно сэкономить от 1,7 до 22,3 млн руб. Тем не менее выбранный большинством респондентов режим работы ландшафтного освещения «*только по праздникам*» представляется малоосмысленным, т.к. при таком режиме работы ландшафтное освещение будет функционировать лишь 28 дней в году, причем почти половина из них придется на новогодние праздники, в то время как за июнь-октябрь ландшафтное освещение будет включено лишь один раз (12 июня). Несмотря на все перечисленные в настоящем исследовании негативные эффекты от работы ландшафтного освещения, факт в целом положительного к нему отношения со стороны населения остается непреложным (см. раздел 4.3.2), как и факт высокой туристической привлекательности природного заказника в летний период, когда туристический поток в Москву сильно возрастает. Все эти факторы делают функционирование ландшафтного освещения в летние месяцы если не необходимым, то вполне логичным.

В связи с этим наилучшим режимом работы ландшафтного освещения представляется не один конкретный режим из выше представленных, а их комбинация – например, работа по выходным и праздничным дням с отключением перед началом и концом вегетационного периода растений и/или работой до 22 или 23 часов вечера. Только с помощью подобного компромисса допустимо функционирование крайне неэкологичного и весьма затратного ландшафтного освещения в городской ООПТ с высокой рекреационной посещаемостью.

5.3. Возможные технические приемы снижения уровня светового загрязнения

Борьба со световым загрязнением в природном заказнике «Воробьевы горы» должна лежать не только в плоскости институционального или экономического регулирования. Законы и нормативы могут приниматься годами, экономические затраты на электроэнергию могут составлять незначительные для регионального бюджета суммы и едва ли быть весомой причиной бороться со световыми вторжениями на заповедных территориях.

Для поиска компромиссных решений, при которых ландшафтное освещение все же должно функционировать, но с минимальным ущербом для экосистем, может быть предложено несколько технических приемов, направленных на снижение негативного воздействия этого освещения. Представленные приемы составлены с учетом вероятных технических возможностей систем освещения на территории природного заказника «Воробьевы горы».

1. *Регулирование режима работы* ландшафтного освещения с учетом различных факторов (экологических, экономических и социальных) было описано в предыдущем разделе 5.2.

2. *Регулирование спектрального состава освещения* – один из приемов борьбы с негативным влиянием конкретных цветов освещения. Негативное влияние желтого, оранжевого и красного света на птиц (см. раздел 1.3) подтверждается, к примеру, требованием чешского законодательства, допускающего использование источников света с длиной волны до 500 нм. Поэтому отказ от этих цветов в светоцветовом сценарии освещения может благоприятно сказаться на состоянии орнитофауны заказника. Отказ от фиолетового и розового цветов также крайне желателен как для благополучия живых организмов, так и для здоровья посещающих заказник рекреантов, что связано с высокими значениями их коэффициента пульсации (более 60%, см. раздел 4.1). Поэтому единственными допустимыми цветами освещения на Воробьевых горах могут остаться зеленый и голубой свет. Такое освещение, к примеру, было осуществлено на территории частного домовладения в Санкт-Петербурге (рис. 5.3.1).



Рис. 5.3.1. Проект «Сказочный лес» как пример ландшафтного освещения, использующего зеленый и голубой цвет. Источник: TRIF.ru⁶⁶

Техническая возможность изменения светоцветового сценария была подтверждена в ходе наблюдений, когда в ноябре 2023 г. произошел технический сбой прожекторов на одном из участков заказника, в результате чего прожекторы вместо плавной смены цветов стали хаотично мигать всеми цветами сразу, создавая подобие режима освещения, свойственного для дискотек.⁶⁷

3. Такие технические приемы, как *снижение яркости освещения* или *выборочное включение*, когда работает либо часть прожекторов, либо часть опор освещения, могут быть

⁶⁶ RGB освещение TRIF – реализованный проект «Сказочный лес» в пригороде Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – URL: <https://trif.ru/skazochnyy-les-ulichnye-rgb-prozhektory-trif-v-novom-proekte-v-leningradskoy-oblasti> (дата обращения: 18.08.2024)

⁶⁷ Вполне вероятно, что это был не технический сбой, а целенаправленная апробация нового светоцветового сценария, очевидно не прижившегося, т.к. с тех пор на территории заказника он не встречался.

эффективным способом борьбы со световым загрязнением. Так, если будет работать каждый второй прожектор на опоре (что маловероятно) или прожекторы на каждой второй опоре (что более вероятно), то это позволит вдвое сократить интенсивность освещения заказника и поступление добавленной световой энергии в ландшафт. Однако технические возможности осуществления выборочного включения или снижения яркости светового потока под вопросом. Наблюдения за режимом работы ландшафтного освещения в заказнике показали, что освещение включается последовательно, секторами: сначала включается участок близ правительственных дач ФСО, затем участок близ Остроумовского родника и т.д. Данные о технических возможностях перепрограммирования последовательности включения прожекторов у нас отсутствуют.

4. *Демонтаж опор освещения* можно назвать наиболее радикальным способом борьбы со световым загрязнением в заказнике, т.к. потенциально может вызвать возмущение со стороны общественности. Это связано с тем, что работы по удалению опор будут включать не только механическое снятие опоры с фундамента, но и нарушение всего почвенно-растительного покрова для извлечения электропроводки, соединяющей опоры между собой. Демонтаж может показаться и экономически нецелесообразным – на установку ландшафтного освещения было потрачено 2,3 млрд руб.⁶⁸, поэтому демонтаж даже 10% от всех опор будет обозначать, что 230 млн руб. было потрачено впустую. Это может стать дополнительным фактором социальной напряженности в настоящее время, когда любое благоустройство природных территорий в Москве воспринимается населением «в штыки», и зреет скандал, связанный с растратами при благоустройстве Воробьевской набережной⁶⁹. С другой стороны, демонтаж опор освещения в наименее посещаемых участках заказника позволит решить проблему не только светового, но и визуального загрязнения на этих участках [Лукиянов, Красовская, 2024].

Любопытно отметить, что демонтаж прожекторов на территории заказника все же происходит, но не силами профессиональных светотехников или небезразличных эоактивистов, а, *предположительно*, обычными ворами. Об этом говорит отсутствие прожекторов на некоторых опорах освещения в наименее посещаемой части заказника, где нет патрулирования сотрудниками охраны ЦПКиО и камер наружного видеонаблюдения. Причем прожекторы отсутствуют преимущественно на нижних крестообразных балках, до которых можно относительно легко дотянуться (рис. 5.3.2).

⁶⁸ Закупка №201700087800 / Официальный сайт Единой информационной системы в сфере закупок [Электронный ресурс]. – URL: <https://zakupki.gov.ru/epz/oboz/public/topic/view.html?topicNumber=201700087800> (Дата обращения: 18.08.2024)

⁶⁹ Засекреченное благоустройство Воробьевской набережной. Выяснили, сколько потратили из бюджета Москвы / MSK1.ru [Электронный ресурс]. – URL: <https://msk1.ru/text/gorod/2023/07/12/72481388/> (Дата обращения: 18.08.2024)



Рис. 5.3.2. Воровство прожекторов ландшафтного освещения как плохой пример борьбы со световым загрязнением. Фото автора.

5. *Разворот прожекторов вниз* с целью перенаправить световые потоки из крон на почвенный и наземный растительный покров был бы хорошей идеей для осуществления с целью уменьшить засвечивание ночного звездного неба. Однако в условиях ООПТ подобную меру едва ли можно считать разумной – световой поток колоссальной интенсивности будет направлен на наземную растительность и обитателей приземного яруса и быстро приведет к их гибели, а также сделает невозможным отдых рекреантов на территории заказника. Свет, отражаемый от земной поверхности, все равно будет попадать в кроны деревьев, хоть и с меньшей силой потока.

Таким образом, коррекция ландшафтного освещения на территории заказника с точки зрения технических возможностей достаточно проста и осуществляется либо отключением освещения, либо перепрограммированием режима его работы.

5.4. Пути сохранения природоохранного статуса заказника в условиях светового загрязнения, сопряженного с рекреацией

Как мы убедились ранее, отсутствие нормирования светового загрязнения на фоне относительно малых затрат на подсветку не позволяют в полной мере защитить экосистемы природного заказника «Воробьевы горы» от пагубного влияния ландшафтного освещения. А с учетом положительного к нему отношения со стороны рекреантов, полное отключение и демонтаж опор представляется и вовсе не целесообразным. Очевидной становится необходимость поиска компромиссов между природоохранным и различными видами допускаемого законодательством хозяйственного использования территорий, в частности,

рекреационного, ярко представленного в природном заказнике и приносящего существенный доход в городской бюджет⁷⁰. Компромисс может быть найден в выделении на территории заказника участков абсолютного заповедания – микрорезерватов, максимально исключаящих все виды антропогенной нагрузки на геосистемы, для обеспечения нормальных условий их функционирования. Такие микрорезерваты составят участки экологического каркаса, который существенно влияет на устойчивое развитие территорий.

Научные разработки ученых-природоведов по планированию элементов экологического каркаса в нашей стране известны с последней трети XX в. как для регионального (центр Русской равнины, Арктика и др.), так и для локального (Москва, Задонский район Липецкой области и др.) уровней. Их общие теоретические положения практически едины, однако особенности создания экологического каркаса имеют большую региональную специфику, зависящую не только от природных условий, но и наличия достаточных площадей для формирования его структуры. Для лесных и лесостепных районов площадь экологического каркаса определяется в 30–40% [Реймерс, Штильмарк, 1978; Кавалюкас, 1985; Тишков, 1985; Сорокин и др., 2001; Гусев, 2003; Михно, Кучин, 2005; Хорошев, 2021; Bennet et al., 2003; Hilty et al., 2020].

Трудности возникают для урбанизированных территорий, ограниченных в пространствах для формирования экологического каркаса. Для муниципального уровня решение этой проблемы имеет особое значение, о чем свидетельствуют многочисленные работы, посвященные зеленой инфраструктуре городов. Несмотря на это, комплексного подхода к обоснованию рекомендуемых управленческих решений для сохранения отдельных элементов экологического каркаса практически нет.

Для решения этой проблемы исследователи признают необходимость создания участков абсолютного заповедания – микрорезерватов, которые могут поддерживать выполнение определенных экосистемных функций, присущих элементам экологического каркаса, формируемого системой ООПТ. Д.В. Черных (2008) отмечает, что локальные системы ООПТ могут создаваться не только для осуществления их привычных функций, но и для решения конкретных задач на определенных временных отрезках. Условием для этого является функциональная целостность системы микрорезервата, представленная в его ядерной зоне [Клауснитцер, 1990; Михно, Кучин, 2005; Черных, 2008 и др.]. При этом организация микрорезерватов может быть направлена как на решение проблемы сохранения редких и исчезающих видов, так и на сохранение типичной для территории ландшафтной структуры в

⁷⁰ По расчетам, одна только канатная дорога пополняет городской бюджет на сумму до 440 млн руб. ежегодно.

целом, обеспечивая возможность ее восстановления и функционирования в условиях высокой антропогенной нагрузки. Наиболее близко к понятию микрорезерватов в современном перечне ООПТ стоят памятники природы, занимающие незначительные площади. Внутри микрорезерватов могут охраняться типичные ландшафтные урочища, биоразнообразие, элементы наследия. Перспективными участками при этом являются верхние звенья ландшафтных катен [Дьяконов и др., 2002]. У микрорезерватов могут отсутствовать буферные зоны с ограниченными хозяйственными нагрузками, однако их ядра являются территориями абсолютного режима заповедания. Выделение микрорезерватов проводится на ландшафтной основе, а оптимальными масштабами картографирования по нашим наблюдениям и опыту других исследователей являются масштабы 1:10000–1:25000 [Михно, Кучин, 2005; Черных, 2008 и др.]. Для городских ООПТ создание микрорезерватов может обеспечивать функциональную реабилитацию экологического каркаса территории и предотвращение его дальнейшего разрушения.

Методика выделения участков заповедания. Выявление ядерных зон заповедания – микрорезерватов – на территории ООПТ предполагает ее ранжирование для определения участков с максимально сохранившимися природными ландшафтами, с наличием элементов наследия и пр. Для этих целей мы воспользовались методом построения нечетких классификаций, позволяющим провести совокупную оценку разнородных показателей: качественных и количественных, объективных и оценочных [Тикун, 1997]. Использование этой методики позволило выявить и ранжировать перспективность тех или иных участков природного заказника для целей организации микрорезерватов.

Для проведения ранжирования было выбрано 10 разнообразных количественных и качественных характеристик территории, представленных в табл. 5.4.1. Эти характеристики определяют природную и культурную ценность участка, наличие неблагоприятных антропогенных изменений, посещаемость рекреантами и др.

Табл. 5.4.1. Характеристики территории природного заказника «Воробьевы горы», использованные при выявлении участков для организации микрорезерватов

№	Тип характеристик	Характеристика территории	Выражение
1	Природно-культурные	Количество видов животных и растений, внесенных в Красную книгу Москвы	В абсолютных значениях
2		Количество объектов историко-культурного наследия	В абсолютных значениях
3		Типичность встречаемости ландшафтного урочища	% от общей площади заказника
4	Экологические	Уровень освещенности	В абсолютных значениях (люксы)

5	Организационно-структурные	Уровень шума	В абсолютных значениях (дБ)
6		Наличие механических антропогенных изменений ¹	% от площади обследованного участка
7		Наличие объектов визуального загрязнения ²	%, занимаемый в пейзаже участка
8		Наличие объектов инфраструктуры ³	Оценочно: от 0 баллов (много) до 3 баллов (мало)
9		Ограниченная доступность посещения ⁴	% от площади обследованного участка
10		Посещаемость	% от общего числа посетителей (оценочно)
¹ Под механическими антропогенными изменениями подразумеваются признаки рекреационной дигрессии: стихийные тропы, замусоренность, почвенная эрозия и т.д.			
² Под объектами визуального загрязнения подразумеваются гирлянды на деревьях, опоры ландшафтного освещения, информационные стенды, натянутые между опорами провода, заборы и т.д.			
³ Под объектами инфраструктуры подразумеваются дороги с различными видами покрытия, опоры уличного освещения, спортивные и детские площадки, скамейки, мусорные урны и т.д.			
⁴ Под ограниченной доступностью посещения подразумевается крутизна склонов более 15°, наличие заболоченных участков, наличие бурелома и кустарниковых зарослей без признаков рубки ухода и т.д.			

Для составления матрицы оценочных характеристик территория заказника была условно разбита на 407 квадратов со стороной 50 м (рис. 5.4.1). Выбранный размер квадрата соотносится с масштабом использованной для сбора информации ландшафтной карты территории (масштаб 1:100000) и детализацией оценочных характеристик, собранных в результате полевого обследования территории. Ряд показателей (объекты культурного наследия, объекты визуального загрязнения) имеют точечную привязку на карте, однако в целом «характеризуют» квадрат, куда входит эта точка. Территории сторонних землепользователей в состав сетки не вошли ввиду невозможности установления в них режима абсолютного заповедания. Таким образом, была составлена оценочная матрица (табл. 5.4.2).

Табл. 5.4.2. Фрагмент оценочной матрицы с характеристиками для последующего использования в математическом моделировании. Названия столбцов (1–10) соответствуют названиям характеристик из табл. 5.4.1.

Номер квадрата	Природно-культурные			Экологические			Организационно-структурные			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	2,52	7	81	5	0	0	0	5
35	2	0	6,31	2,5	46	5	30	3	20	5
97	0	1	6,92	2,7	46	15	20	2	40	15
128	1	0	1,9	38	46	15	20	1	60	15
250	0	1	14,94	10,6	60	25	15	0	50	50
279	0	0	5,3	2,3	80	30	30	0	0	50
335	0	0	5,3	0,1	55	0	0	3	100	30
396	1	0	14,94	0,2	55	10	0	1	50	30

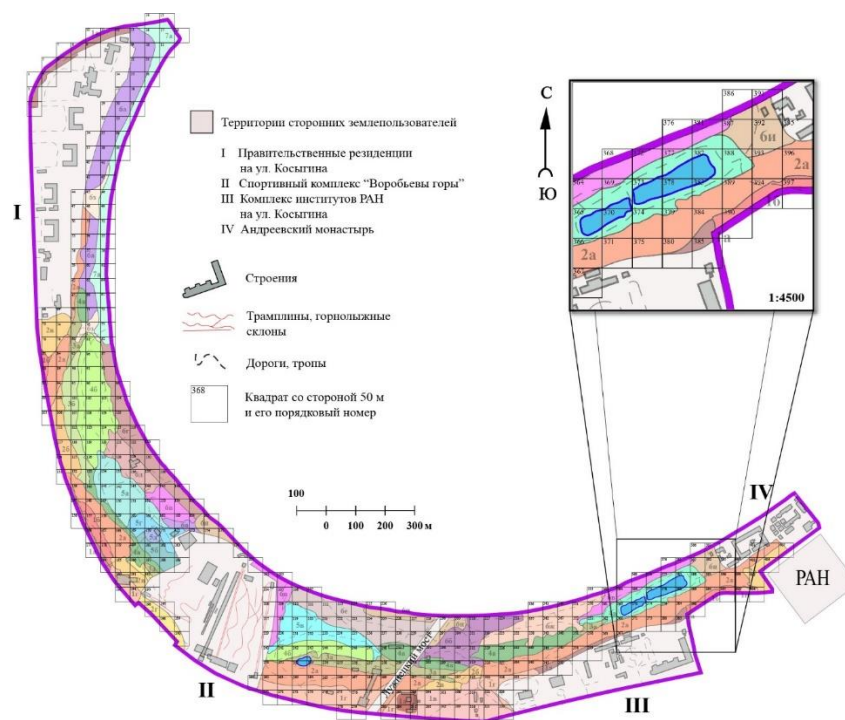


Рис. 5.4.1. Сетка квадратов на территории природного заказника «Воробьевы горы». Квадраты наложены на ландшафтную карту (легенда – в разделе 3.2).

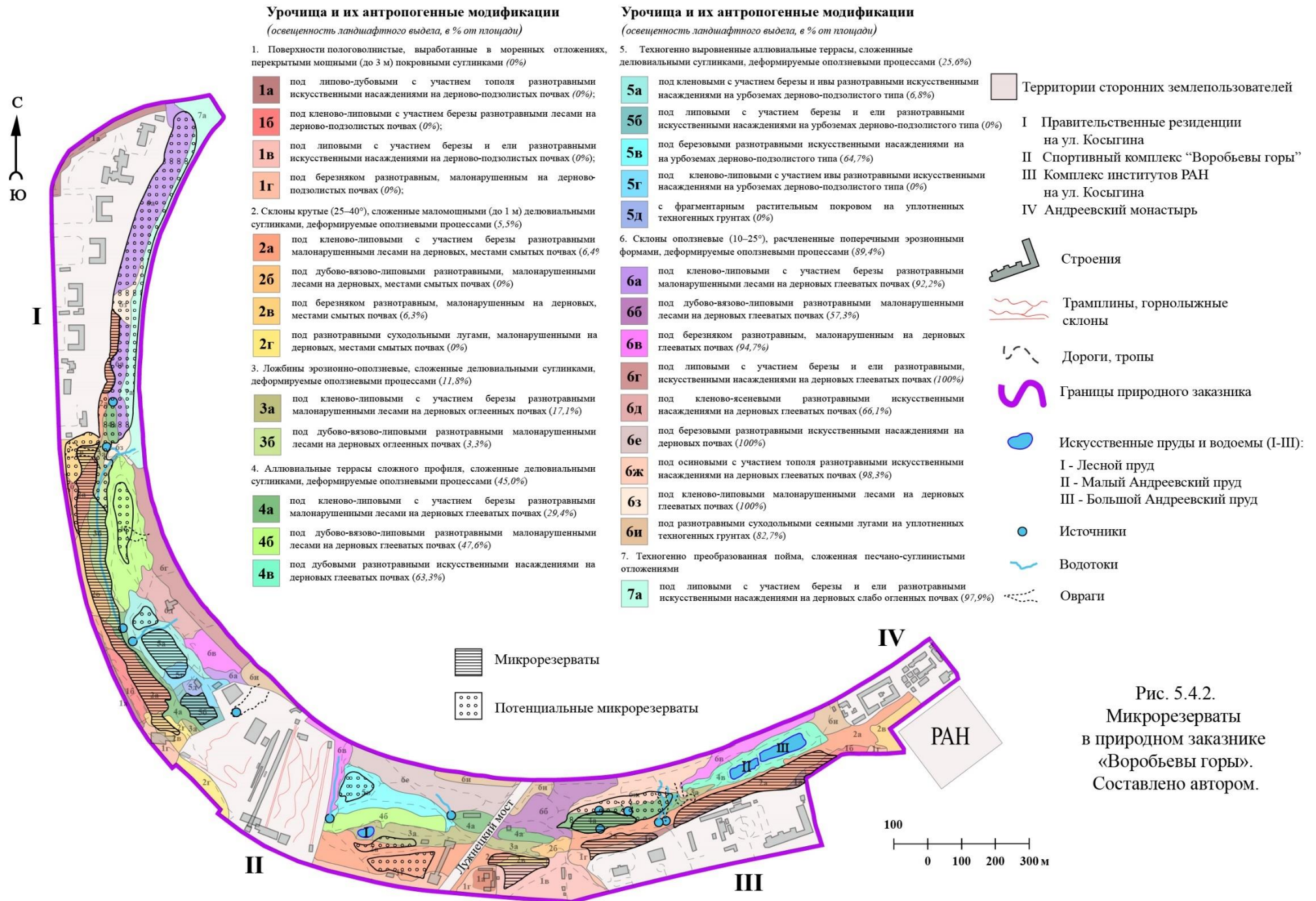
Обработка матрицы оценочных характеристик. Для проведения первичной оценки участков использовался алгоритм В.С. Тикунова (1997), суть которого состоит в нормировке исходных показателей матрицы по дисперсиям, после которой производится процедура многовариантной типологии на основе критерия минимизации внутригрупповых различий. В результате был получен вариант пространственной группировки оценочных характеристик, состоящий из 7 групп (при анализе числа таксонов, варьировавших от 2 до 10). Этот уровень также наилучшим образом интерпретировался для соответствующей цели исследования. В рамках этой пространственной группировки из 7 таксонов сформировалось ядро размытой классификации – 54 квадрата с характеристиками, свойственными ядрам заповедания: фоновое значение освещенности, минимальные антропогенные нарушения, наличие видов растений и животных, внесенных в Красную книгу и т.д. – впоследствии соотнесенные с ландшафтными контурами. Оставшиеся квадраты рассматривались нами как «бахрома», состоящая из двух уровней плотности в нечеткой части массива. Таким образом, были выявлены потенциальные участки ядер заповедания микрорезерватов.

Итогом работы явилось составление карты участков территории природного заказника для организации микрорезерватов (рис. 5.4.2). Такие участки включают 9 типов ландшафтных урочищ (из 28 представленных на территории природного заказника), в числе которых

пологоволнистые равнинные участки под кленово-липово-дубовыми разнотравными лесами и искусственными насаждениями на дерново-подзолистых почвах; крутые склоны (25–40°) под кленово-вязово-липовыми разнотравными малонарушенными лесами на дерновых, местах смытых почвах; эрозионно-оползневые ложбины под дубово-вязово-липовыми разнотравными малонарушенными лесами на дерновых оглеенных почвах; деформируемые оползневыми процессами аллювиальные террасы под кленово-липовыми разнотравными малонарушенными лесами на дерновых глееватых почвах.

Помимо выделения ядер заповедания, использованный метод позволил выявить участки, потенциально пригодные для организации микрорезерватов. Для этого необходимо улучшение показателей одной-двух характеристик. Так, например, примыкающие к ул. Косыгина территории к югу от правительственных резиденций обладают практически всеми характеристиками ядра, за исключением повышенного уровня шумового загрязнения и наличия мусора. Эти проблемы могли бы быть легко решены установкой вдоль дороги шумозащитных экранов и уборкой территории. Участки к востоку от правительственных резиденций также обладают всеми характеристиками ядра, за исключением высокого уровня светового загрязнения. А поскольку ландшафтное освещение в заказнике включается секторами (раздел 5.3), то проблема освещения на этом участке могла бы быть решена путем отказа от его освещения. Тем не менее подобные территории потенциального заповедания в настоящее время могут выполнять определенные буферные функции при введении ограничений для их посещения.

Оценочно общая площадь территорий, предлагаемых для создания микрорезерватов, составляет 15,1% от общей (за вычетом застроенных пространств). Площадь потенциально пригодных участков, которые могут выполнять функции микрорезерватов при условии их незначительного преобразования, равна 16,8% территории заказника. Таким образом, совокупная площадь микрорезерватов с сохранившимся ландшафтами может составить почти треть площади заказника, что соответствует существующим рекомендациям для экологического каркаса. Особенностью такого экологического каркаса является то, что он создаётся на территории ООПТ в условиях высокой рекреационной нагрузки. Микрорезерваты не снизят рекреационную привлекательность территории заказника, однако упорядочат рекреационную нагрузку для сохранения его природоохранного статуса.



5.5. Создание атласной информационной системы для выработки управленческих решений по оптимизации природопользования территории

В предыдущих разделах была затронута необходимость поиска компромиссных решений для защиты наиболее сохранившихся участков природного заказника не только от светового загрязнения, но и от других видов антропогенных нарушений. Однако поиск таких решений возможен только при обеспеченности всех участников землепользования количественными и пространственными данными об особенностях ООПТ и геоэкологических угрозах для нее. Все эти данные могут быть комплексно представлены в атласной информационной системе (далее АИС) [Капралов и др., 2005].

АИС – это компьютеризированная геоинформационная система, связанная с конкретной территорией или темой и дополненная повествовательной (текст) или иллюстративной (изображения, аудио- и видеофайлы, анимации, диаграммы) частями, наложенными на карту [Яблоков, Тикунов, 2016]. Включение большого количества разнообразной некартографической информации в АИС наделяет ее статусом мультимедийной (далее МАИС) [Карчагина, 2016]. Иными словами, МАИС представляет собой электронную версию бумажного атласа с расширенными возможностями «управления» картой (слоями, категориями легенды, типом отображения и т.д.), масштабирования, навигации и поиска, а также использования сложных аналитических функций, присущих ГИС [Яблоков, Тикунов, 2016; Ormeling, 1996; Hurni, 2008]. Подобная электронная система может включать в себя информацию (пространственную, текстовую, видео) о разнообразных географических характеристиках, элементах природного и культурного наследия, информацию о состоянии природной среды и пр. Содержание АИС может быть дополнительно расширено такими элементами, как выбор временного промежутка (ретроспектива), виртуальные туры, построение маршрутов, гиперссылки на интернет-источники и даже познавательные игры или тесты и пр. [Hurni, 2008].

Представляется необходимым создание АИС и для природного заказника «Воробьевы горы». В табл. 5.5.1 показана структура возможного наполнения АИС «ООПТ Воробьевы горы». Подобная структура (с учетом различных особенностей) может быть применена для любой городской ООПТ. При единстве тематических структур разных ООПТ становится возможным объединение всех подобных систем в общую АИС «ООПТ Москвы» с единой базой данных.

Табл. 5.5.1. Элементы наполнения АИС «ООПТ Воробьевы горы»

Разделы АИС	Подразделы АИС
Объекты природного наследия	• Растения, внесенные в Красную книгу Москвы; • Животные, внесенные в Красную книгу Москвы; • Рельеф (горизонтالي); • Уникальные элементы рельефа; • Ландшафтные урочища; • Растительность; • Старовозрастные деревья; • Почвенный покров; • Объекты гидрографической сети; • Эстетические ценные природные пейзажи
Объекты историко-культурного наследия	• Археологические объекты; • Святые и достопримечательные места; • Памятники; • Архитектурные ансамбли; • Оставшиеся фрагменты исторических объектов
Культурные ландшафты	• Культурные ландшафты, образованные историческими типами природопользования; • Эстетически ценные пейзажи, устроенные с участием человеческой деятельности, в т.ч. отраженные в произведениях художников; • Отображение пейзажей в литературе, живописи, кино и т.д.
Рекреация (виды, объекты, особенности)	• Прогулки; • Занятия спортом; • Познавательная рекреация натуралистическая; • Познавательная рекреация культурно-историческая
	• Детские или спортивные площадки; • Скамейки; • Беседки
	• Сезонность рекреационного использования территории; • Примерное число рекреантов (в т.ч. на разных участках)
Функциональное зонирование и техническая инфраструктура	• Характер землепользования; • Дорожно-тропиночная сеть; • Технические сооружения; • Спортивные объекты; • Опоры уличного и/или ландшафтного освещения; • Электрические провода
Экологическое состояние	• Содержание загрязняющих веществ в почвах, в воздухе, в элементах биоты; • Гидрохимическое состояние вод в объектах гидрографической сети; • Шумовое загрязнение; • Световое загрязнение; • Радиационное загрязнение; • Визуальное загрязнение; • Вытоптанность почвенного и наземного растительного покрова; • Замусоренность; • Оползневая активность склонов
Экономические характеристики	• Оценочная стоимость экосистемных услуг; • Кадастровая стоимость ООПТ;

В настоящее время в эколого-просветительском центре «Воробьевы горы» имеется ГИС «Воробьевы горы» со слоями, содержащими базовую географическую информацию о территории: высоту рельефа, почвенный покров, растительность, объекты гидрографической сети, а также функциональное зонирование и пр. Однако эта ГИС доступна только для внутреннего пользования сотрудниками экоцентра (рис. 5.5.1).

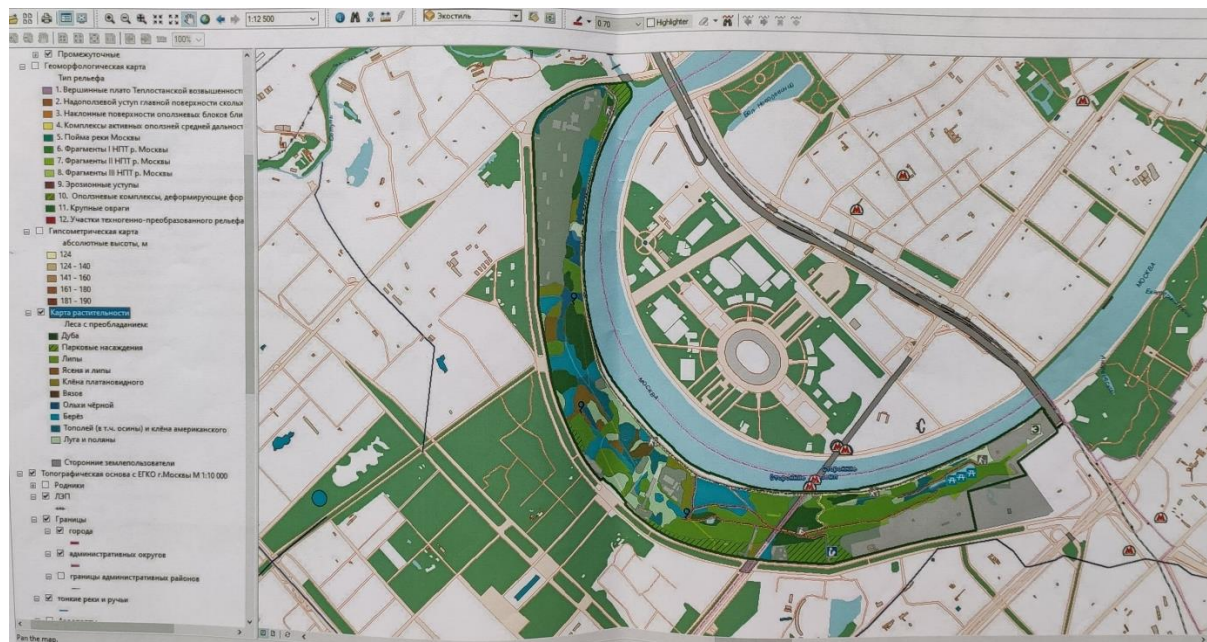


Рис. 5.5.1. Распечатанный скриншот из закрытой ГИС «Воробьевы горы», предоставленный сотрудниками эколого-просветительского центра «Воробьевы горы»

Более того, отличие АИС от ГИС в том, что первая обладает гораздо большим функционалом, может вместить большее количество информации и, что самое главное, может быть доступно в сети Интернет в виде веб-картографических информационных систем. Принципиальным отличием АИС от ГИС является ориентированность на широкую аудиторию, которая может не владеть специфическими навыками пользования ГИС-программами и быть доступной для туристов, студентов, научных работников, специалистов в охране природы и лиц, принимающих управленческие решения.

Концептуально в схеме использования технологий АИС для управления природопользованием на ООПТ выделяется несколько блоков, представленных на рис. 5.5.2. Прежде всего должна быть проведена инвентаризация – создание исчерпывающего набора входных данных как природной, так и социально-экономической и экологической тематики. Наличие таких данных в АИС будет определять возможность последующего пространственного

анализа экспертом и подготовки данных для выработки сценариев развития территории и принятия управленческих решений в области оптимизации природопользования.



Рис. 5.5.2. Логическая схема базы данных АИС ООПТ для управления природопользованием. Источник: Яблоков, Тикунов, 2016.

В блоке «Принятие решений» должна быть задействована экспертная оценка, предлагаемая машиной логического вывода (*системой поддержки принятия решений, СППР*) и соотносящая информацию от эксперта с информацией, содержащейся в базе знаний по управлению природопользованием. При этом экспертная система может предлагать различные сценарии решения поставленной задачи. Наилучшее доступное решение может быть выбрано с помощью теории многокритериальной полезности (MAUT), метода анализа иерархий (Analytic hierarchy process) и прочих, на которых мы не станем останавливаться. Принятие же окончательного решения должно непременно проводиться при участии ГИС-специалиста и эксперта по охране природы. Возможно и использование структуры блок-чейна для удовлетворения частных запросов пользователей территории [Евсеев и др., 2022].

Одним из исполнителей блока «Принятие решений» может стать искусственный интеллект, а точнее его подмножество — *нейронные сети*. Для упрощения обработки большого количества входных данных и выработки различных сценариев решения задач, с опорой в т.ч. и

на установленные нормативно-правовые акты в области природопользования, может быть разработана экспертная система глубокого обучения (*Deep Learning*). При этом нейросетевая модель может использовать не только данные, заложенные в АИС конкретной ООПТ, но и объединять их в режиме реального времени с данными мониторинга окружающей среды, математическими моделями движения воздушных масс и пр., что, например, может позволить проводить более точный прогноз распространения загрязнений окружающей среды, прогнозировать возможные катастрофические явления (например, моделировать оползневые процессы на склонах Воробьевых гор под влиянием различных природных явлений и антропогенной деятельности), вырабатывать оптимальные стратегии управления территориями и даже объективно оценивать экономический ущерб природным геосистемам и т.д. [Романова и др., 2013; Borowiec et al., 2021]. Перечисленные варианты использования нейронных сетей, конечно, выходят далеко за рамки создания мультимедийной АИС и ставят решение задач природопользования на новую ступень развития человечества, на которой судьба природных территорий будет решаться с помощью искусственного интеллекта. Помимо непреложных преимуществ нейронных сетей, есть и недостатки: конфликты с существующей нормативно-правовой базой (в случае наличия противоречий и пробелов в последней), дороговизна реализации, отсутствие этики, ложные корреляции и пр. [Маркова, Тикунов, 2022].

Одним из важнейших недостатков использования нейронных сетей может стать предвзятость или попросту плохие намерения разработчиков. Предлагаемые искусственным интеллектом решения, очевидно, должны тщательно проверяться экспертами в области охраны природы или даже находиться под надзором органов экологического контроля, вплоть до проведения экологической экспертизы.

Заключение

Световое загрязнение является относительно новым феноменом, дополняющим перечень уже известных видов физического загрязнения окружающей среды (электромагнитного, шумового и др.). Стремительное нарастание территорий, испытывающих избыточную световую нагрузку, увеличивается вслед за процессами урбанизации. Мониторинг этого вида загрязнения начат с конца 90-х гг. XX в., однако до настоящего времени не носит глобального характера, не имеет стандартизированных методик, а эффекты воздействия светового загрязнения на природную среду и человека остаются мало изученными. Наиболее активно в настоящее время исследуется влияние светового загрязнения на орнитофауну и здоровье человека, причем не только физическое (провоцирование развития онкологических и глазных болезней), но и психическое, т.к. нарушение генетической адаптации к определенному режиму освещенности чревато развитием эмоциональной неустойчивости и депрессии. Неслучайно первая международная организация по борьбе со световым загрязнением – Международная ассоциация темного неба – сформировалась из потребности защитить возможность человеком созерцать звездное небо, что он делал на протяжении веков, перенося свои наблюдения в мифологию, фольклор, поэзию и живопись.

Единственными участками на урбанизированных территориях, казалось бы, защищенными от светового загрязнения, должны были быть городские ООПТ. Однако природоохранный статус едва ли защищает их от него. Защита городских ООПТ от светового загрязнения является сложной проблемой, решение которой требует комплексного подхода, учитывающего как эколого-географические особенности территории, институциональную среду, социально-экономические характеристики, так и тот факт, что многие из них используются для целей рекреации.

Несмотря на свою актуальность, проблема светового загрязнения является лишь одной из многих проблем, фиксируемых в ООПТ. Но только эта проблема, наименее изученная среди всех, не имеет практически никакого нормативного регулирования, за исключением размытых формулировок в законах об ООПТ о «недопущении искажения исторически сложившегося охраняемого ландшафта» и «запрете нарушения местообитаний видов растений и животных». Этот пробел напрямую сказывается на благополучии природы и общества – световое загрязнение с каждым годом разрастается и начинает не только затрагивать городские ООПТ по периферии, но и целенаправленно внедряться в их природные ландшафты на всей территории. Однако если человек может минимизировать количество световых потоков простым зашториванием окон, то природные ландшафты вынуждены лишь изменяться под воздействием избыточной световой

энергии. Такие изменения включают в себя ухудшение условий существования биоты ООПТ, истощение экосистемных функций, снижение эстетической ценности территории и последующую утрату ею природоохранного статуса. Все это может происходить в природном заказнике «Воробьевы горы» под воздействием ландшафтного освещения.

В настоящем исследовании нами были рассмотрены различные аспекты влияния светового загрязнения на экосистемы природного заказника: влияние на приоритетные экосистемные функции, изменение суточной и сезонной ритмики ландшафтов, снижение их эстетической ценности и пр. Каждый из этих аспектов заслуживает подробного изучения со стороны биogeографов и почвоведов, геофизиков и ландшафтоведов, социологов и культурологов, и потенциально может перерасти в полноценное научное мониторинговое направление.

Настоящая же работа – первая комплексная попытка объединить максимально возможное количество аспектов воздействия светового загрязнения на природу и человека – лежит на стыке результирующего взаимодействия трех изменяющихся в условиях светового загрязнения компонентов социоприродной системы – природы, населения и хозяйства. Световое загрязнение, как любая геоэкологическая проблема, носит системный характер и, следовательно, требует системных решений, основанных на поисках компромисса между рекреационным и природоохранным природопользованием для обеспечения устойчивого развития изученной территории.

Проведенное исследование светового загрязнения в природном заказнике «Воробьевы горы» позволяет сделать следующие выводы:

1. Световое загрязнение на территории г. Москвы непрерывно увеличивается в результате изменения землепользования, а также широкого использования архитектурно-художественной подсветки. Площадь неосвещенных природных пространств за 2013–2023 гг. сократилась на 11%, площадь территорий, испытывающих световое загрязнение, включая городские ООПТ, возросла на 8,5%. Комплексный природный заказник «Воробьевы горы» выделяется максимальной площадью засветки (68% территории) для городских ООПТ при интенсивности светового загрязнения 140 лк на уровне человеческого роста и 18,4 тыс. лк в кронах деревьев (при фоновом для заказника значении 0,9 лк).

2. Избыточный свет продуцирует приток добавленной энергии в геосистемы, потенциально влияющий на их сезонную и суточную ритмику. Доля добавленной энергии светового потока от суммарной радиации в летнее время составляет 3–6%, в зимнее время – до

70%. В начале и конце вегетационного периода прирост суммарной радиации за счет добавленной энергии составляет 6,4% и 34,1% соответственно, в сумеречное время весной – 18,2%, а осенью – 44,9%.

3. Возможные пути сохранения природоохранного статуса заказника «Воробьевы горы» на фоне усиления светового загрязнения, сопровождающего развитие рекреации, включает создание микрорезерватов – ядер заповедания, возможная площадь которых может достигать 30% от общей, а также институциональные и технические мероприятия.

Вместе с тем, проведенное исследование высветило ряд задач, которые требуют решения при его продолжении. Среди них:

- постановка мониторинговых исследований изменения экосистем;
- изучение физических аспектов распространения световых волн в различных метеорологических условиях;
- оценка влияния светового загрязнения на трансформацию почвенных и экзогенных геоморфологических процессов;
- определение допустимого диапазона (по мощности, спектрам, ритмике) ландшафтного освещения для сохранения экосистем и пейзажной привлекательности городских ООПТ для рекреантов;
- разработка специальных образовательных курсов для ландшафтных экологов и архитекторов, муниципальных управленцев, светотехников и пр.;
- разработка нормативных документов, регламентирующих светового загрязнение в городских ООПТ; и т.д.

В 1940-х гг. В.И. Вернадский писал, что человечество не только *«намеренно и стихийно меняет всю окружающую его природу»*, но и *«подшло к новым формам энергии для получения чрезвычайно длительного и яркого освещения»*⁷¹. Стоит предположить, что чуть более полувека назад едва ли кто-то мог представить, что *«чрезвычайно длительное и яркое»* освещение, воспринимаемое как несомненное благо человечества, дополнит собой список видов физического загрязнения, оказывающего негативное воздействие на человека и живые геосистемы. Проблема светового загрязнения требует скорейшего решения.

⁷¹ Вернадский, 2013. С. 287–291.

Список литературы

1. Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю. Биосфера и физические факторы. Световое загрязнение окружающей среды // Ученые записки Российского Государственного Гидрометеорологического Университета. – 2014. – № 33. – С. 84–101.
2. Белоусов А.А., Моисеев М.А. Расчет вторичной оптики светодиодного прожектора для формирования заданного распределения освещенности // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2010. – № 4 (24). – С. 148–158.
3. Белоусов С.К., Евсеев А.В., Красовская Т.М. Дифференциация приоритетных экосистемных услуг в зеленой инфраструктуре города Кировска Мурманской области // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – М.: Географический факультет МГУ. – 2022. – Т. 28. – № 1. – С. 69–77.
4. Белявский О.В., Пашинская Е.С., Побяржин В.В. Роль циркадной системы в поддержании гомеостаза организма млекопитающих (обзор литературы) // Вестник Витебского государственного медицинского университета. – 2022. – Том 21. – № 5. – С. 33–44.
5. Беручашвили Н.Л. Четыре измерения ландшафта. – М.: Мысль, 1986. – 182 с.
6. Беручашвили Н.Л., Жучкова В.К. Методы комплексных физико-географических исследований. Учебник – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 320 с.
7. Беручашвили Н.Л. Этология ландшафта и картографирование состояний природной среды. – Тбилиси: Издательство Тбилисского университета, 1989. – 198 с.
8. Бобылев С.Н., Захаров В.М. Экосистемные услуги и экономика. – М.: ООО «Типография Левко», 2009. – 72 с.
9. Бобылев С.Н., Медведева О.Е., Сидоренко В.Н., Соловьева С.В., Стеценко А.В., Жушев А.В. Экономическая оценка биоразнообразия / под. ред. С.Н. Бобылева, А.А. Тишкова – М.: ИПРП, 1999. – 112 с.
10. Бобылёв С.Н., Перелет Р.А., Соловьева С.В. Методические рекомендации по оценке и внедрению системы платежей за экосистемные услуги на ООПТ. – Волгоград, 2012. – 175 с.
11. Бобылев С.Н., Порфирьев Б.Н. Устойчивое развитие крупнейших городов и мегаполисов: фактор экосистемных услуг // Вестник Московского университета. Сер. 6 Экономика. – 2016. – № 6. – С. 3–21.
12. Бобылев С.Н., Сидоренко В.Н., Лужецкая Н.В. Экономические основы сохранения водно-болотных угодий. – М.: Wetlands international, 2001. – 56 с.
13. БСЭ. 3-е изд. Т. 23. Сафлор-Соан / Большая советская энциклопедия (в 30 томах) (под гл. ред. А.М. Прохорова). – М.: «Советская энциклопедия», 1976. – 713 с.
14. Бугрий Е.В. Астрономический туризм и его объекты // Стратегия развития индустрии гостеприимства и туризма. Материалы IV международной интернет-конференции, Орел. – Орел, 2011. – С. 269–275.
15. Бузмакова Д.А. Оценка светового загрязнения города Томска // Перспективы развития фундаментальных наук. Сборник научных трудов XIII межд. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 7 томах. Национальный исследовательский Томский

- политехнический университет; под ред. И. А. Курзиной, Г. А. Вороновой. – 2016. – С. 121–123.
16. Бурцев Д.С. Моделирование динамики продукции энергии в лесных культурах ели // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2013. – № 1. – С. 6–10.
17. Вернадский В.И. Биосфера. – М.: Мысль, 1967. – 376 с.
18. Вернадский В.И. Собрание сочинений: в 24 т. / Т. 9. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. Биосфера и ноосфера / науч. ред. и сост. академик Э.М. Галимов. – М.: Наука, 2013. – 574 с.
19. Виноградова И.А. Влияние светового режима на развитие метаболического синдрома у крыс в процессе старения // Успехи геронтологии. – 2007. – Т. 20, № 2. – С. 70–75.
20. Виноградова И.А., Букалев А.В., Забежинский М.А. Влияние светового режима и мелатонина на гомеостаз, продолжительность жизни и развитие спонтанных опухолей у самцов крыс // Вопросы онкологии. – 2008. – Т. 54, № 1. – С. 70–77.
21. Воскресенский К.С. Современные рельефообразующие процессы на равнинах Севера России. – М.: Московский университет, 2001. – 262 с.
22. Глазовская М.А. Общее почвоведение и география почв: Учебник для студентов-географов вузов. – М.: Высшая школа, 1981. – 400 с.
23. Глазовский Н.Ф. Избранные труды в двух томах. Т. 2. Устойчивое развитие биосферы. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. – 386 с.
24. Голубев Г.Н. Геоэкология : учебное пособие / Г.Н. Голубев. – М.: Изд-во ГЕОС, 1999. – 338 с.
25. Горохов В.А. Городское зеленое строительство : учеб. пособие для архит. и строит. спец. вузов. – М.: Стройиздат, 1991. – 409 с.
26. Горшков С.П. Концептуальные основы геоэкологии. – Смоленск: Изд-во Смоленского гуманитарного университета, 1998. – 445 с.
27. Гусев А.В. Принципы организации районных сетей особо охраняемых природных территорий (РСООПТ) // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. География и геоэкология. – 2003. – № 2. – С. 92–99.
28. Данилова М.В., Усольцева Е.Н. Роль гормона эпифиза мелатонина в сохранении здоровья женщин репродуктивного возраста (обзор литературы) // Акушерство, Гинекология и Репродукция. – 2019. – № 13(4). – С. 337–344.
29. Дементьев Е.П. Гигиена содержания и кормления крупного рогатого скота : учебник / Е. П. Дементьев, А. Ф. Кузнецов, К. А. Рожков [и др.]. – Санкт-Петербург: ООО "Квадро", 2016. – 336 с.
30. Диксон Д., Скура Л., Карпентер Р., Шерман П. Экономический анализ воздействий на окружающую среду / под науч. ред. пер. Бобылева С.Н. и др. – М.: Вита-пресс, 2000. – С. 270.
31. Динамическая геоморфология: оползневые процессы и их региональные особенности : учебно-методическое пособие для вузов (сост. В.Н. Бевз, А.С. Горбунов). – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2015. – 43 с.

32. Дирин Д.А. Образы ландшафтов и природопользование // Идеи В.В. Докучаева и современные проблемы сельской местности: материалы Международной научно-практической конференции. – Москва-Смоленск, 2001. – Ч. 1. – С. 94–98.
33. Дирин Д.А. Пейзажно-эстетические ресурсы горных территорий: оценка, рациональное использование и охрана (на примере Усть-Коксинского района Республики Алтай). – Барнаул: Аз Бука, 2005. – 300 с.
34. Дирин Д.А., Попов Е.С., Николаева О.П. Эстетико-рекреационные ресурсы горной части Алтайского края // Мир науки, культуры, образования. – 2010. – № 6 (25). – С. 262–269.
35. Добренков В.И., Кравченко А.И. Методы социологического исследования : учебник. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 768 с.
36. Дьяконов К.Н. Экологическое проектирование и экспертиза / К.Н. Дьяконов, А.В. Дончева. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 384 с.
37. Дьяконов К.Н., Байбар А.С., Харитонов Т.И. Внутривековая динамика эффективности использования лесами Мещеры фотосинтетически активной радиации // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2017. – № 5. – С. 12–22.
38. Евсеев А.В., Красовская Т.М. Скверы в городах Российской Арктики: приоритетные экосистемные функции и услуги, способствующие адаптационному развитию и устойчивости городов // Известия Русского географического общества. – 2022. – Т. 54, № 5–6. – С. 36–46.
39. Евсеев А.В., Красовская Т.М., Тикунов В.С., Тикунова И.Н. Урегулирование конфликтов в области землепользования на землях коренных народов на основе блокчейн-платформы на примере Российской Арктики // Наука. Инновации. Технологии. – 2022. – № 4. – С. 139–168.
40. Ермолаев О.П. Картографирование геохимически сопряженных ландшафтов региона (на примере Республики Татарстан) // Ученые записки Казанского государственного университета. Естественные науки. – 2009. – Т. 151, кн. 3. – С. 229–238.
41. Ерохин А.А. Оценка рекреационной нагрузки на ООПТ «Воробьевы горы» // В мире научных открытий: материалы IV Международной студенческой научной конференции, 20–21 мая 2020. Том I. – Ульяновск: УлГАУ, 2020. – С. 123–125.
42. Завьялова Н.Е., Косолапова А.И., Соснина И.Д. Гумусное состояние и азотный фонд дерново-подзолистой почвы Предуралья в условиях интенсивного землепользования // Агрохимия. – 2004. – № 9. – С. 21–25.
43. Замолотчиков Д.Г. Системы оценки и прогноза запасов углерода в лесных экосистемах // Устойчивое лесопользование. – 2011. – № 4 (29) – С. 15–22.
44. Илькун Г.М. Загрязнители атмосферы и растения. – Киев: Наукова Думка, 1978. – 247 с.
45. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолотчиков Д.Г., Пряжников А.А. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России (Аналитический обзор). – М.: «Центр экологической политики», 1995. – 156 с.

46. Исаева Р.П., Копылова Ю.Ю., Лебедев Ю.В., Макаренко Г.П. Эколого-экономическая оценка водоохранно-водорегулирующей и водоочистительной роли лесов Среднего Урала // Леса Урала и хозяйство в них : сб. науч. тр. – Министерство образования РФ, Урал. гос. лесотехн. ун-т 2004. – Вып. 24. – С. 71–81.
47. Истомина Я.Г., Каплина Н.Ф. Динамика густоты и жизненности антропогенных дубрав южной лесостепи в связи с волновым отпадом и рубками ухода // Научные основы устойчивого управления лесами. Материалы II Всероссийской научной конференции (с международным участием). – Москва, 2016. – С. 35–36.
48. История городского освещения Москвы / Ю.А. Харкеевич, Н.В. Потапова, А.Ю. Федорищев, В.М. Пятигорский, Н.И. Щепетков; ГУП «Моссвет». – М.: Музей «Огни Москвы», 2007. – 181 с.
49. Кавалюскас П. Системное проектирование сети особо охраняемых территорий // Геоэкологические подходы к проектированию природно-технических систем. – М.: ИГ АН СССР. – 1985. – С. 145–153.
50. Капралов Е.Г., Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. и др. Геоинформатика: Учеб. для студ. вузов. – М.: Академия, 2005. – 480 с.
51. Каракайтис Д.Ю., Лисина Т.Н. Светодиодное освещение в современной тепличной отрасли // Земледелие. – 2023. – № 8. – С. 44–47.
52. Карчагина Л.П. Географические и земельно-информационные системы : учебное пособие. – Майкоп, 2016. – 151 с.
53. Касимов Н.С. Геохимия природных и техногенных ландшафтов // Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А. Глазовской). Доклады Всероссийской научной конференции. Москва, 2012. – М.: Географический факультет МГУ. – С. 15–18.
54. Каштанов, А.Н. Ландшафтное земледелие. Ч. 1. Концепция формирования высокопродуктивных экологически устойчивых агроландшафтов и совершенствования систем земледелия на ландшафтной основе / Щербakov А.П., Швебс Г.И. и др. – Курск, 1993. – 54 с.
55. Клауснитцер Б. Экология городской фауны. – М.: Мир, 1990. – 246 с.
56. Климат Москвы в условиях глобального потепления / Алексеева Л. И., Варенцов М. И., Горбаренко Е. В. и др.; под ред. А. В. Кислова. – М.: Изд-во Московского университета, 2017. – 288 с.
57. Колесников Н.А., Барышников С.Г. Световое загрязнение ландшафтов // География и природопользование Сибири. – Алтайский государственный университет. – 2015. – С. 82–89.
58. Комарчев Д.А., Красовская Т.М. Сравнительная характеристика экосистемных услуг зеленой инфраструктуры городов умеренного и субарктического поясов // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сб. трудов IX международ. науч.-практ. конф. – Ростов-на-Дону: ЮФУ. – 2020. – С. 351–356.

59. Котляков В.М. География. Понятия и термины: пятиязычный академический словарь: русский, английский, французский, испанский, немецкий / В.М. Котляков, А.И. Комарова; Российская академия наук. – М.: Наука, 2007. – 859 с.
60. Красовская Т.М. Природопользование Севера России / Т.М. Красовская. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 288 с.
61. Красовская Т.М., Лукьянов Л.Е. Антропогенные триггеры ритмики ландшафтов // Материалы I Белорусского географического конгресса: к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества, Минск, 8–13 апр. 2024 г. В 7 ч. – Минск: БГУ. – 2024. – Т. 5. – С. 174–178.
62. Красовская Т.М., Лукьянов Л.Е., Тикунов В.С. Проблема сохранения природоохранных функций городских заказников в условиях рекреационной нагрузки // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2024. – № 5. – С. 17–26.
63. Кузнецов А.Ф. Гигиена животных : учебник для вузов / А. Ф. Кузнецов, В. Г. Тюрин, В. Г. Семенов. Кн. 1: Общая зоогигиена. – Санкт-Петербург: Лань. – 2021. – 360 с.
64. Кузнецов В.В. Физиология растений : учебник / В.В. Кузнецов, Г.А. Дмитриева. – М.: Высшая школа, 2006. – 742 с.
65. Лукашов А.А. Геолого-геоморфологическое строение и морфодинамика Воробьевых гор (г. Москва) // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2008. – № 5. – С. 68–73.
66. Лукашов А.А. Оползни Воробьевых гор // Геоморфологические процессы и их прикладные аспекты. Сборник материалов всеросс. науч. конф., посвящ. 255-летию Московского университета и 125-летию со дня рождения И.С. Щукина. – МГУ, Географический факультет. – 2010. – С. 166–168.
67. Лукьянов Л.Е. Методика изучения светового загрязнения в городских ООПТ // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Антропогенная трансформация геопространства: меняющийся мир – штрихи к портрету», Волгоград, 11–12 декабря 2023 г. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2024. – С. 43–48.
68. Лукьянов Л.Е., Красовская Т.М. Визуальное загрязнение парковых зон городов на примере природного заказника "Воробьевы горы" в Москве // Известия Русского географического общества. – 2024. – Т. 156, № 1. – С. 60–76 с.
69. 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.
70. Лукьянов Л.Е., Красовская Т.М. Изучение светового загрязнения окружающей среды на разных масштабных уровнях // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов XXII международной научно-практической конференции. – РУДН, Москва. – 2021. – С. 318–327.
71. Лукьянов Л.Е., Красовская Т.М., Матасов В.М. Влияние светового загрязнения на ритмику ландшафтов природного заказника «Воробьевы горы» (Москва) // Вестник Российского

- университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2024. – № 2. (в печати)
72. Лукьянов Л.Е., Маркова О.И. Картографирование антропогенных нарушений на территории природного заказника «Воробьевы горы» (г. Москва). ИнтерКарто. ИнтерГИС. – М.: Географический факультет МГУ. – 2023а. Т. 29 Ч. 2 С. 503–517.
73. Лукьянов Л.Е., Маркова О.И. Объекты природного и культурного наследия и эстетически ценные пейзажи на территории природного заказника «Воробьевы горы» в атласной информационной системе // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – М.: Географический факультет МГУ. – 2023б. – Т. 29, № 2. – С. 518–535.
74. Макарова Е.А., Корнеев А.В. Влияние светового загрязнения на соловья обыкновенного в заказнике "Воробьевы Горы" города Москвы // Потенциал науки и современного образования в решении приоритетных задач АПК и лесного хозяйства. Материалы нац. науч.-практ. конф. – Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева. – 2019. – С. 150–154.
75. Макарова Е.А., Остапенко В.А. Влияние антропогенного загрязнения на состав орнитофауны парков города Москвы // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2021. – № 1. – С. 16–23.
76. Малкина И.С. Световые кривые фотосинтеза подростов лиственных пород // Световой режим, фотосинтез и продуктивность леса. – М.: Наука, 1967. – С. 220–231.
77. Маркова О.И., Тикунов В.С. Новые технологии для современной геоинформатики // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – М.: Географический факультет МГУ. – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 5–34.
78. Марчик Т.П., Ефремов А.Л. Почвоведение с основами растениеводства : учебное пособие / Т.П. Марчик. – Гродно: ГрГУ, 2006. – 249 с.
79. Мельник Л.Г. Экологическая экономика : учебное пособие / Л.Г. Мельник. – Сумы: Изд-во «Университетская книга», 2001 г. – 350 с.
80. Михеев В.А. Климатология и метеорология : учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – 114 с.
81. Михно В.Б., Кучин А.В. К вопросу создания ландшафтно-экологического каркаса Задонского района Липецкой области // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. География и геоэкология. – 2005. – № 2. – С. 19–28.
82. Мовчан М.А. Световое загрязнение в пределах города «Видное» Московской области // Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование. Труды 7-й межд. науч.-практ. конф. Московский педагогический государственный университет (МПГУ), Географический факультет. – Москва. – 2020. – С. 100–105.
83. Мягков М.С., Губернский Ю.Д., Конова Л.И., Лицкевич В.К. Город, архитектура, человек и климат. – М.: Архитектура-С, 2007. – 344 с.
84. Назаренко А.Е., Краснаярова Б.А. Стоимостная оценка экосистемных услуг по депонированию углерода экосистемами Алтайского края как составляющая перехода к

- устойчивому развитию // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2018. – Вып. 3, Т. 4 (14). – С. 89–99.
85. Назаров С.В., Рогова О.В., Халаимова А.В. Исследование долгосрочного изменения уровня засветки неба как экологического фактора // Актуальные вопросы биологической физики и химии. – 2018. – Т. 3. – № 4. – С. 913–920.
86. Национальный атлас почв Российской Федерации. – М.: Астрель: АСТ, 2011. – 632 с.
87. Национальный атлас России. Том 2. Природа. Экология / под ред. Г. Ф. Кравченко. – М.: Роскартография, 2007. – 496 с.
88. Николаев В.А. Ландшафтоведение. Эстетика и дизайн. – М.: Аспект Пресс, 2005. – 176 с.
89. Николаев В.А. Проблемы ландшафтной эстетики // Вопросы географии. Сб. 138: Горизонты ландшафтоведения (под ред. К.Н. Дьяконова). – М.: Издательский дом «Кодекс», 2014. – С. 451–458.
90. Новая географическая картина мира. Ч. 1 : учебное пособие / под ред. В.А. Колосова, Д.В. Зайца. – М.: Дрофа, 2020. – 319 с.
91. Новосёлов С. И. Влияние фотохимического воздействия света на подвижность гумусовых веществ и свойства почвы // Агрохимия. – 2021. – № 12. – С. 37–41.
92. Нурминский В.Н., Захаров Ю.Б. Влияние спектрального состава и интенсивности света на фотосинтез растений // Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды. Сборник материалов Годичного собрания Общества физиологов растений России, Всеросс. науч. конф. с межд. участием и школы молодых ученых. В 2 ч. – Изд-во: Институт географии им. В.Б. Сочавы, Иркутск. – 2018. – С. 1327–1329.
93. Одум Ю. Основы экологии. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
94. Осин В.А. Зеленые насаждения как средство борьбы с уличными шумами // Гигиена и санитария. – 1962. – № 4. – С. 13–18.
95. Осипов А.Ф. Биологическая продуктивность сосняков чернично-сфагновых средней тайги // Лесной журнал. – 2013. – № 1. – С. 43–51.
96. Особо охраняемые природные территории Москвы: справочник-путеводитель (по заказу Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы). – М.: «Ториус77», 2013. – 178 с.
97. Парамонова Т.А., Тишкина Э.В., Краснов С.Ф., Толстихин Д.О. Структура почвенного покрова и основные свойства почв природного парка «Воробьевы горы» // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2010. – № 1. – С. 24–34.
98. Потеев М.И. Концепции современного естествознания : учебник для студентов вузов. – СПб.: Питер, 1999. – 349 с.
99. Природа города Москвы и Подмосковья / АН СССР, Институт географии. – Москва, Ленинград, 1947. – 390 с.
100. Пустовая О.А., Давыдова К.А. Световое загрязнение как фактор экологического благополучия на примере г. Благовещенск Амурской области // Эколого-биологическое

- благополучие растительного и животного мира. Материалы международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 213–216.
101. Рахманов В.В. Лесная гидрология. – М.: ВИНТИ, 1981. – 180 с.
102. Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. – М.: Мысль, 1978. – 298 с.
103. Романова А.Г., Тархов Д.А., Шемякина Т.А. О применение нейросетевых моделей в экологии // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2013. – № 9. – С. 534–539.
104. Рябчиков А.М. Структура и динамика геосферы. Ее естественное развитие и изменение человеком. – М.: «Мысль», 1972. – 224 с.
105. Рязанова Г.И. Поведение насекомых. / Г. И. Рязанова. – М.: Изд-во Московского университета, 2019. – 232 с.
106. Савин И.Ю. Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий / Автореферат дисс. на соиск. уч.ст. д. с.-х. н., 2004.
107. Савин И.Ю., Столбовой В.С., Иванов А.Л. и др. Технологии составления и обновления почвенных карт / Авт. И.Ю. Савин, В.С. Столбовой, А.Л. Иванов, Е.Ю. Прудникова, А.В. Жоголев, А.Я. Воронин. – М.: Издательство «Перо», 2019. – 328 с.
108. Самсонова С.Ю., Белютина В.С., Барабошкина Т.А., Самарин Е.Н., Огородникова Е.Н. Эколого-геоморфологический анализ в обосновании управления городскими ООПТ (на примере природного заказника «Воробьевы горы», г. Москва) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 2. – С. 93–99.
109. Синеговская В.Т., Лёвина А.Н. Влияние продолжительности светового дня на рост, развитие и продуктивность сои // Дальневосточный аграрный вестник. – 2020. – № 2 (54). – С. 47–53.
110. Скрипчинская Е.А., Романенко К.И. Динамика светового загрязнения Ставропольского края (2012–2020 гг.) // УЭПС: управление, экономика, политика, социология. – 2021. – № 3. – С. 98–105.
111. Соколова Т.А., Толпешта И.И., Трофимов С.Я. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и в почвенном растворе. – Тула: Гриф и К, 2012. – 124 с.
112. Солнцев Н.А. Учение о ландшафте (избранные труды). – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. – 384 с.
113. Сорокин А.С., Тюсов А.В., Пушай Е.С., Кириллова Т.М., Кравченко П.Н. Формирование экологической сети как основа сохранения ландшафтного и биологического разнообразия Тверской области // Географические основы формирования экологических сетей в России и Восточной Европе (Тверь, 1–28 февраля 2011 г.): материалы. – М.: Товарищество научных изданий КМК. – 2011. – Ч. 1. – С. 253–256.

114. Стенин В. Соблюдение нормативов по пульсациям освещенности – одно из основных условий качества светодиодного освещения // Полупроводниковая светотехника. – 2017. – № 3(47). – С. 68–72.
115. Сундукова Е.Н., Ильина Е.О. Световое загрязнение как результат урбанизации // Актуальные проблемы социально-экономической и экологической безопасности поволжского региона. Сборник матер. VII межд. науч.-практ. конф. – Казанский филиал МИИТ. – 2015. – С. 45–48.
116. Таранец И.П., Алексеева В.А. Охрана природы на Воробьевых горах: прошлое и настоящее // Жизнь Земли. – 2022. – № 3, Т. 44. – С. 319–333.
117. Телеснина В.М., Подвезенная М.А., Сорокин А.С., Мешалкина Ю.Л. Оценка биомассы хвойно-лиственных лесов на примере УОПЭЦ МГУ «Чашниково» // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2024. – Т. 79, № 2. – С. 37–45.
118. Тикунов В.С. Классификации в географии: ренессанс или увядание? (Опыт формальных классификаций). – М.–Смоленск: изд-во СГУ, 1997. – 367 с.
119. Тикунов В.С. Моделирование в картографии. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. – 405 с.
120. Тимирязев К.А. Солнце, жизнь и хлорофилл. Том 1. Публичные лекции и речи. – М.: Сельхозгиз. – 1937. – 499 с.
121. Тишкина Э.В., Парамонова Т.А., Краснов С.Ф., Толстихин Д.О. Оценка современного уровня загрязнения почв природного парка «Воробьевы горы» приоритетными экотоксикантами // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2010. – № 1. – С. 43–51.
122. Тишков А.А. Биосферные функции и экосистемные услуги ландшафтов степной зоны России // Аридные экосистемы. – 2010. – Т. 16, № 1(41). – С. 5–15.
123. Тишков А.А. Охраняемые природные территории и формирование каркаса устойчивости // Оценка качества окружающей среды и экологическое картографирование. – Невель: ИГ РАН. – 1996. – С. 94–107.
124. Тишков А.А. Экосистемные услуги ландшафтов как один из главных стратегических ресурсов России // Стратегические ресурсы и условия устойчивого развития Российской Федерации и ее регионов (под ред. В.М. Котлякова, А.А. Тишкова). – М.: ИГРАН, 2014. – С. 70–88.
125. Тишков А.А., Баскин Л.М. Гибель животных на автодорогах староосвоенных регионов Европейской России: оценки и рекомендации к снижению // Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – № 1. – С. 217–226.
126. Толковый астрономический словарь / ред. Л. В. Жуков. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2021. – 688 с.
127. Топчиев А.Г. Пространственная организация географических комплексов и систем. Киев-Одесса: Выща школа, 1988. 187 с.

128. Физиология растений: Учебник для студ. Вузов. / Н.Д. Алехина, Ю.В. Балнокин, В.Ф. Гавриленко и др.; под ред. И.П. Ермакова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 640 с.
129. Хорошев А.В. Мировой опыт применения ландшафтно-экологического, ландшафтно-социального и ландшафтно-эстетического подходов к планированию устойчивого лесопользования // Устойчивое лесопользование. – 2021. – № 1(65). – С. 21–29.
130. Цветаева А.И. Воспоминания. – М.: Изографус, Дом-музей Марины Цветаевой, 2002. – 880 с.
131. Челноков А. А. Экология городской среды : учебное пособие / А. А. Челноков, Л. Ф. Ющенко, Е. Е. Григорьева. – Минск: Вышэйшая школа, 2015. – 368 с.
132. Черных Д.В. Локальные системы особо охраняемых природных территорий: реалии и перспективы. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2008. – 88 с.
133. Чернышенко О.В. Особенности использования поглотительной способности древесных растений в современных фитотехнологиях // Лесной вестник. – 2018. – № 4. – С. 92–98.
134. Чернышенко О.В. Пылефильтрующая способность древесных растений // Лесной вестник. – 2012. – № 3. – С. 7-10.
135. Шибаева Т.Г., Марковская Е.Ф., Мамаев А.В. Фитомелатонин: обзор // Журнал общей биологии. – 2017. – Т. 78, № 5. С. 46–62.
136. Шмырев Д.А. Астротуризм как перспективное направление научно-познавательного туризма // Современные проблемы гуманитарных и общественных наук. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2019. – С. 104–108.
137. Шульгин И.А., Вильфанд Р.М., Страшная А.И., Береза О.В., Павлова К.И. Информационно-регуляторная роль солнечной радиации в периоды сумерек в развитии и продуктивности яровых зерновых культур // Тр. Гидрометеорологического научно-исследовательского центра РФ. – 2016. – № 362. – С. 193–213.
138. Экологический атлас России. – М.: ООО «Феория», 2017. – 510 с.
139. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 1. Услуги наземных экосистем (ТЕЕВ-Russia) / под ред. Е.Н. Букварёвой, Д.Г. Замолотчикова. – М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016. – 148 с.
140. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 2. Биоразнообразие и экосистемные услуги: принципы учета в России (ТЕЕВ-Russia) / под ред. Е.Н. Букваревой, Т.В. Свиридовой. – М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2020. – 252 с.
141. Элементарный учебник физики: Учеб. пособие в 3 т. Т. 3. Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика / Под ред. Г.С. Ландсберга. – 13-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 656 с.
142. Эрингис К.И. Экология и эстетика ландшафта. – Вильнюс, 1975. – 212 с.

143. Юртай Т.Т. Пылеудерживающие свойства древесных и кустарниковых пород города Семей // Молодой ученый. – 2022. – № 7 (402). – С. 60-63.
144. Яблоков В.М., Тикунов В.С. Атласные информационные системы для устойчивого развития территорий // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – М.: Географический факультет МГУ. – 2016. – Т. 22, Ч. 1. – С. 13–33.
145. Янков Н.В. Отражательная способность листовой поверхности как оценочная характеристика адаптивности интродуцентов // Экология и география растений и растительных сообществ: материалы IV международной научной конференции (Екатеринбург, 16–19 апреля 2018 г.). – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, Гуманитарный институт. – 2018. – С. 1087–1091.
146. Akiyama Y. Analysis of light intensity data by the DMSP/OLS satellite image using existing spatial data for monitoring human activity in Japan // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Melbourne, Australia. 2012, August 25–September 1. Vol. I-2.
147. Alkon P. U., Saltz D. Influence of season and moonlight on temporal activity patterns of Indian crested porcupines (*Hystrix indica*) // Journal of Mammalogy. 1988. 69(1):71–80
148. 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(3):e0281810.
149. Anderson S.J., Kubiszewski I., Sutton P.C. The Ecological Economics of Light Pollution: Impacts on Ecosystem Service Value // Remote Sensing. 16(14): 2591.
150. Arizona Revised Statutes, Annotated. Prepared under Legislative Authority, Laws 1956, Chapter 129. St. Paul: West Pub. Co. 1956. P. 128.
151. Baggs J. E., Green C. B. Nocturnin, a deadenylase in *Xenopus laevis* retina: a mechanism for posttranscriptional control of circadian-related mRNA // Current Biology. 2003. 13:189–198.
152. Baker J. Toad aggregations under street lamps // British Herpetological Society Bulletin. 1990. 31:26–27.
153. Barentine J.C. Methods for Assessment and Monitoring of Light Pollution around Ecologically Sensitive Sites // Journal of Imaging. 2019(5).
154. 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.
155. Bastian O., Grunewald K., Khoroshev A.V. The significance of geosystem and landscape concepts for the assessment of ecosystem services: exemplified on a case study in Russia // Landscape Ecology. 2015. V. 30, No. 7. P. 1145–1164.
156. Bauer R. Untersuchung zur Anlockung von nachtaktiven Insekten durch Beleuchtungseinrichtungen [Investigation of the attraction of nocturnal insects by artificial lights]. Diploma thesis. Department of Biology, University of Konstanz, Germany. 1993.
157. Beacham J. L. Phototaxis and age dependent migratory orientation in the indigo bunting, *Passerina cyanea*. M.S. thesis, Clemson University, Clemson, South Carolina. 1982.

158. Beiswenger R. E. Diel patterns of aggregative behavior in tadpoles of *Bufo americanus*, in relation to light and temperature // *Ecology*. 1977. 58:98–108.
159. Bennett G., Kalemani J.M. Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones // Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Montreal, Technical Series. 2006. No. 23 (100). P. 97.
160. 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.
161. Bergh A., Craford G., Duggal A., Haitz R. The Promise and Challenge of Solid-State Lighting // *Physics Today*. 54(12). 2001. P. 42–47.
162. Bertolucci C., Sovrano V. A., Magnone M. C., Foà A. Role of suprachiasmatic nuclei in circadian and light-entrained behavioral rhythms of lizards // *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2000. 279. P. 2121–R2131.
163. Bird B. L., Branch L. C., Miller D. L. Effects of coastal lighting on foraging behavior of beach mice // *Conservation Biology*. 2004. 18:1435–1439.
164. Blake D., Hutson A. M., Racey P. A., Rydell J., Speakman J. R. Use of lamplit roads by foraging bats in southern England // *Journal of Zoology*. 1994. London. 234:453–462.
165. Borowiec M.L., Frandsen P.B., Dikow R.B., McKeeken A., Valentini G., White A.E. Deep learning as a tool for ecology and evolution // *Methods in Ecology and Evolution*. 2021. 13. P. 1640–1660.
166. Boslett A., Hill E., Ma L.L., Zhang L.J. Rural light pollution from shale gas development and associated sleep and subjective well-being // *Resource and Energy Economics*. 2021. P. 34.
167. Bracci M., Manzella N., Copertaro A. et al. Rotating-shift nurses after a day off: peripheral clock gene expression, urinary melatonin, and serum 17- β -estradiol levels // *Scand J Work Environ Health*. 2014. 40(3):295–304.
168. Brainard G.C., Hanifin J.P., Greenson J.M. et al. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor // *Journal of Neuroscience*. 2001. Vol. 21. P. 6405–6412.
169. Brei M., Pérez-Barahona A., Strobl E. Environmental Pollution and Biodiversity: Light Pollution and Sea Turtles in the Caribbean // *Environmental Science*. 2016. Vol. 77. P. 95–116.
170. Brewster W. Bird migration. Part 1. Observations on nocturnal bird flights at the lighthouse at Point Lepreaux, Bay of Fundy, New Brunswick // *Memoirs of the Nuttall Ornithological Club*. 1886. 1:5–10.
171. Brown B. Land Use Trends Surrounding Organ Pipe Cactus National Monument. Technical Report No. 39. Cooperative National Park Resources Studies Unit, School of Renewable Natural Resources, The University of Arizona, Tuscon, Arizona. 1991. P. 56.
172. Bruederle A., Hodler R. Nighttime lights as a proxy for human development at the local level // *PLoS ONE*. 2018. 13(9):e0202231.
173. Bucher S. F., Uhde L., Weigelt A., Cesarz S., Eisenhauer N., Gebler A., Kyba C., Römermann C., Shatwell T., Hines J. Artificial light at night decreases plant diversity and

- performance in experimental grassland communities // *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B. Biological sciences*. 2022. № 378(1892). 20220358.
174. Burkhard B., Maes J., Potschin-Young M. et al. Mapping and assessing ecosystem services in the EU – Lessons learned from the ESERALDA approach of integration // *One Ecosystem* 3. 2018. e29153. P. 20.
 175. Cao Y., Zhang S., Ma K. Artificial light at night decreases leaf herbivory in typical urban areas // *Frontiers in Plant Science*. 2024. 15:1392262
 176. Cathey H.M., Campbell L.E. Effectiveness of five vision-lighting sources on photo-regulation of 22 species of ornamental plants // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1975a. 100:65–71.
 177. Cathey H.M., Campbell L.E. Security lighting and its impact on the landscape // *Journal of Arboriculture*. 1975b. 1:181–187.
 178. Cesarz S., Eisenhauer N., Bucher S.F., Ciobanu M., Hines J. Artificial light at night (ALAN) causes shifts in soil communities and functions // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2023. 378. P. 12.
 179. Chen X. Nighttime Lights and Population Migration: Revisiting Classic Demographic perspectives with an Analysis of Recent European Data // *Remote Sensing*. 2020. 12(1):169.
 180. Cho W., Sung C., Ki K. Characterizing light pollution in national parks during peak and off-peak tourist seasons using nighttime satellite images // *Korean Journal of Environment and Ecology*. 2014. 28(4):484-489
 181. Cinzano P., Falchi F., Elvidge C.D. The first world atlas of the artificial night sky brightness // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2001. Vol. 328. P. 689–707.
 182. Clarke W. E. Studies in bird migration. Vol. I and II. Gurney & Jackson, London. 1912.
 183. Clevenger A.P., Waltho N. Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals // *Biological Conservation*. 2005. Vol. 121. P. 453–464.
 184. Coogan A.N., Cleary-Gaffney M., Finnegan M., McMillan G., González A., Espey B. Perceptions of Light Pollution and its Impacts: Results of an Irish Citizen Science Survey // *Int J Environ Res Public Health*. 2020. Aug 4;17(15):5628.
 185. Cox D.T., Sánchez de Miguel A., Bennie J.G., Dzurjak S.A., Gaston K.J. Majority of artificially lit Earth surface associated with the non-urban population // *The Science of the total environment*. 2022. 156782.
 186. Cunningham P. L. Colubridae: *Lamprophis fuliginosus*, brown house-snake. Foraging // *African Herp News*. 2002. 34:28–29.
 187. Czaja M., Kołton A. How light pollution can affect spring development of urban trees and shrubs // *Urban Forestry & Urban Greening*. Vol. 77. November 2022. 127753
 188. Czarnecka K., Błażejczyk K., Morita T. Characteristics of light pollution – a case study of Warsaw (Poland) and Fukuoka (Japan) // *Environmental pollution*. 2021. Vol. 291. 118113.
 189. Daly H., Farley J. *Ecological economics. Principals and applications*. Washington: Island Press, 2004. P. 284.

190. Dauchy R. T., Sauer L. A., Blask D. E., Vaughan G. M. Light contamination during the dark phase in “photoperiodically controlled” animal rooms: effect on tumor growth and metabolism in rats // *Laboratory Animal Science*. 1997. 47:511–518
191. Davies T.W., Duffy J.P., Bennie J.J., Gaston K.J. Stemming the Tide of Light Pollution Encroaching into Marine Protected Areas // *Conservation Letters*. 2016. 9:1–8.
192. DeCoursey P. J. Light-sampling behavior in photoentrainment of a rodent circadian rhythm // *Journal of Comparative Physiology*. 1986. 159:161–169.
193. Delisle J., West R.J., Bowers W.W. The relative performance of pheromone and light traps in monitoring the seasonal activity of both sexes of the eastern hemlock looper, *Lambdina fiscellaria fiscellaria* // *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 1998. 89:87–98.
194. Delpierre N., Garnier S. Treuil-Dussouet H. et al. Phenology across scales: an intercontinental analysis of leaf-out dates in temperate deciduous tree communities // *Plant ecophysiology Lab. Preprint*, 2023. P. 34.
195. Doll C. N. H., Muller J.-P., Morley J. G. Mapping regional economic activity from night-time light satellite imagery // *Ecological Economies*. 2006. 57(1):75–92.
196. Dorais M., Gosselin A. Physiological response of greenhouse vegetable crops to supplemental lighting // *Proc. IV Int. ISHS Symp. on Artificial Lighting*. 2000. Vol. 580. P. 59–67.
197. Dreisig H. The importance of illumination level in the daily onset of flight activity in nocturnal moths // *Physiol Entomol*. 1980. 5(4):327–342.
198. Dutta Gupta S., Agarwal A. Artificial Lighting System for Plant Growth and Development: Chronological Advancement, Working Principles, and Comparative Assessment // *Light Emitting Diodes for Agriculture*. 2017. P. 1–25.
199. Eeclo den Boer L.C., Schrotten A.A. Traffic noise reduction in Europe. CE Delft, March 2007. P. 70.
200. Eisenbeis G., Hänel A., McDonnell M., Hahs A., Breuste J. Light pollution and the impact of artificial night lighting on insects // *Ecology of Cities and Towns*. Cambridge University Press. 2009. P. 243–263.
201. Elvidge C. D., Baugh K. E., Kihn E. A., Kroehl H. W., Davis E. R., Davis C. W. Relation between satellite observed visible near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption // *International Journal of Remote Sensing*. 1997. 18(6). P. 1373–1379.
202. Elvidge C.D., Baugh K.E., Ghosh T., Zhizhin M.N., Hsu F., Sparks T.L., Bazilian M.D., Sutton P.C., Hounghbedji K., Goldblatt R. Fifty years of nightly global low-light imaging satellite observations // *Frontiers in Remote Sensing*. 2022. 3:919937.
203. Elvidge C.D., Baugh K.E., Zhizhin M.N., Hsu F., Ghosh T. VIIRS night-time lights // *International Journal of Remote Sensing*. 2017. 38. P. 5860–5879.
204. Fahrig L., Pedlar J. H., Pope S. E., Taylor P. D., Wegner J. F. Effect of road traffic on amphibian density // *Biological Conservation*. 1995. 73:177–182.

205. Falchi F. Italian regional laws on light pollution / Dark and Quiet Skies for Science and Society II. Implementing the recommendations. La Palma, Canary Islands, Spain. 3–7 October, 2021.
206. Falchi F., Cinzano P., Duriscoe D. et al. The new world atlas of artificial night sky brightness // *Science Advances*. 2016. Vol. 2(6): e1600377.
207. Falchi F., Ramos F., Bará S., Sanhueza P., Arancibia M.J., Damke G., Cinzano P. Light pollution indicators for all the major astronomical observatories // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2023. Vol. 519, Issue 1. P. 26–33.
208. Fan L., Zhao J., Wang Y., Ren Z., Zhang H., Guo X. Assessment of Night-Time Lighting for Global Terrestrial Protected and Wilderness Areas // *Remote Sensing*. 2019. 11, 2699.
209. French-Constant R.H., Somers-Yeates R., Bennie J.J., Economou T., Hodgson D.J., Spalding A., McGregor P.K. Light pollution is associated with earlier tree budburst across the United Kingdom // *Proceedings of the Royal Society*. 2016. Biological Sciences, 283.
210. Firebaugh A., Haynes K.J. Experimental tests of light pollution impact on nocturnal insect courtship and dispersal // *Oecologia*. 2016. 182:1203–11.
211. Firth B. T., Belan I., Kennaway D. J., Moyer R. W. Thermocyclic entrainment of lizard blood plasma melatonin rhythms in constant and cyclic photic environments // *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 1999. 277:1620–1626.
212. Fletcher D.H., Garrett J.K., Thomas A., Fitch A., Cryle P., Shilton S., Jones L. Location, Location, Location: Modelling of Noise Mitigation by Urban Woodland Shows the Benefit of Targeted Tree Planting in Cities // *Sustainability*. 2022. 14, 7079.
213. Frank K.D. Impact of outdoor lighting on moths: an assessment // *Journal of the Lepidopterists' Society*. 1988. 42:63–93.
214. Garrett J.K., Donald P.F., Gaston K.J. Skyglow extends into the world's Key Biodiversity Areas // *Animal Conservation*. 2019. Vol. 23(2).
215. Garris H.W., Snyder, J.A. Sex-specific attraction of moth species to ultraviolet light traps // *Southeastern Naturalist*. 2010. Vol. 9. P. 427–434.
216. Gaston K.J., Bennie J.J., Davies T.W., Hopkins J.J. The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal // *Biological Reviews*. 2013. Vol. 88.
217. Gaston K.J., Duffy J.P., Bennie, J.J. Quantifying the erosion of natural darkness in the global protected area system // *Conservation Biology*. 2015. Vol. 29, No. 4. P. 1132–1141.
218. Gauthreaux S. A. Jr. Age-dependent orientation in migratory birds. P. 68–74 in F. Papi and H. G. Wallraff (eds.), *Avian navigation*. Springer-Verlag, Berlin. 1982.
219. Gauthreaux S. A. Jr., Belser C. G. The behavioral responses of migrating birds to different lighting systems on tall towers [abstract] // In W. R. Evans and A. M. Manville II (eds.), *Avian mortality at communication towers*. Transcripts of proceedings of the Workshop on Avian Mortality at Communication Towers, August 11, Cornell University, Ithaca, New York. 1999.
220. Geffen van K.G. et al. Artificial light at night inhibits mating in a Geometrid moth // *Insect Conserv Divers*. 2015. 8(3):282–7.

221. Geffen van K.G., van Eck E., de Boer R.A., van Grunsven R.H., Salis L., Berendse F., Veenendaal E.M. Artificial night lighting disrupts sex pheromone in a noctuid moth. *Ecol Entomol.* 2015. 40(4):401-8.
222. Giavi S., Fontaine C., Knop E. Impact of artificial light at night on diurnal plant-pollinator interactions // *Nat Commun* 2021. 12. 1690.
223. Gómez-Acebo I., Dierssen-Sotos T., Papantoniou K. et al. Association between exposure to rotating night shift versus day shift using levels of 6-sulfatoxymelatonin and cortisol and other sex hormones in women // *Chronobiol Int.* 2015. 32(1):128–35.
224. Green C. B., Besharse J. C. Identification of a novel vertebrate circadian clock–regulated gene encoding the protein nocturnin // *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 1996. 93:14884–14888.
225. Groot R. de., Alkemade R., Braat L., Hein L., Willemen L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making // *Ecological Complexity.* 2010. Vol. 7. № 3.
226. Groot R. de, Brander L., van der Ploeg S., Costanza R. et al. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units // *Ecosystem Services.* 2012. N 1. P. 50–61.
227. Groot R. de, Wilson M., Boumans R. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services, special issue on the dynamics and value of ecosystem services: integrating economic and ecological perspectives // *Ecological Economics.* 2002. 41(3). P. 393–408.
228. 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. Vol. 223. P. 97–103.
229. Gunawan Admiranto A., Priyatikanto R., Maryam S. et al. Light Pollution Observations in Indonesia. *Light Pollution, Urbanization and Ecology* // *IntechOpen.* 2022.
230. Gunawan Admiranto A., Priyatikanto R., Maryam S., Elyyani Kurniawati S., Faisal Eko Saputro M. *Light Pollution Observations in Indonesia. Light Pollution, Urbanization and Ecology.* 2021. P. 20.
231. Habtemariam S., Daglia M., Sureda A., Selamoglu Z., Gulhan M.F., Nabavi S.M. Melatonin and Respiratory Diseases: A Review // *Curr Top Med Chem.* 2017. 17(4):467-488.
232. Hafner M., Stepanek M., Taylor J., Troxel W.M., van Stolk C. Why Sleep Matters – The Economic Costs of Insufficient Sleep: A Cross-Country Comparative Analysis // *Rand health quarterly.* 2017. 1;6(4):11.
233. Hallmann C.A., Sorg M., Jongejans E., Siepel H., Hofland N., Schwan H., Stenmans W., Müller A., Sumser H., Hörren T., Goulson D. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas // *PLoS One.* 2017. 12(10):e0185809.
234. Hamdorf K., Höglund G. Light induced retinal screening pigment migration independent of visual cell activity // *Journal of Comparative Physiology.* 1981. Vol. 143. P. 305–309.

235. Hanif A., Shirazi S.A., Jabbar M., Liaqat A., Zia S., Yusoff M.B. Evaluating the Visitors' Perception and Available Ecosystem Services in Urban Parks of Lahore (Pakistan) Research Paper // GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY. 2023. 15(4):32–38.
236. Hartmann W.K. Astronomy: The Cosmic Journey. –Wadsworth Publishing Company. – 1941. – P. 700.
237. Hazell J., Wilkins A. A contribution of fluorescent lighting to agoraphobia // Psychological Medicine. 1990. Vol. 20. P. 591–596.
238. He C., Anand S.T., Ebell M.H. et al. Circadian disrupting exposures and breast cancer risk: a meta-analysis // Int Arch Occup Environ Health. 2015. 1;88(5):533–47.
239. Herman J.P., Cullinan W.E. Neurocircuitry of stress: central control of the hypothalamo-pituitary-adrenocortical axis // Trends Neurosci. 1997. 20(2):78–84.
240. Hilty J., Worboys G., Keeley A. Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors. Best Practice Protected Area Guidelines. IUCN. 2020. Series 30. Gland, Switzerland. P. 140.
241. Hollan J. Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky. Výzkumná správa. Brno, Masarykova univerzita. 2004.
242. Horton K.G., Nilsson C., Van Doren B.M., La Sorte F.A., Dokter A.M., Farnsworth A. Bright lights in the big cities: migratory birds' exposure to artificial light // Frontiers in Ecology and the Environment. 2019. Vol. 17(4).
243. Hu W., Deng C., Ma Z., Wang D., Fan C., Li T., et al. Utilizing melatonin to combat bacterial infections and septic injury // Br J Pharmacol. 2017. 174(9):754–768.
244. Hurni L. Multimedia atlas information systems. Encyclopedia of GIS. – Springer, 2008. – P. 759–763.
245. Hwang C. L., Yoon K. Multiple attributes decision making methods and applications. – Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1981. – P. 269.
246. Hyde E., Frank S., Barentine J.C., Kuechly H., Kyba C.C.M. Testing for changes in light emissions from certified International Dark Sky Places // International Journal of Sustainable Lighting. 2019. 21(1). P. 11–19.
247. Hyde L. L., Underwood H. Effects of melatonin administration on the circadian activity rhythm of the lizard *Anolis carolinensis* // Physiology & Behavior. 2000. 71:183–192.
248. IEEE Recommended Practices of Modulating Current in High Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers. IEEE Standards Association. March 2008. P. 80.
249. Jahani A., Hatef Rabiee Z. et al. Modeling and Prediction of the Aesthetics of Urban Parks Based on Landscape Complexity Criterion // Journal of Natural Environment. 2021. Vol. 74, № 4. P. 27–40.
250. Jamieson D., Roberts A. Responses of young *Xenopus laevis* tadpoles to light dimming: possible roles for the pineal eye // Journal of Experimental Biology. 2000. 203:1857–1867.
251. Jiang W., He G., Long T., Wang C., Ni Y., Ma R. Assessing Light Pollution in China Based on Nighttime Light Imagery // Remote Sensing. 2017. Vol. 9(135).

252. Jones J., Francis C. M. The effects of light characteristics on avian mortality at lighthouses // *Journal of Avian Biology*. 2003. Vol. 34(4). P. 328–333.
253. Joshi D., Chandrashekar M. K. Spectral sensitivity of the photoreceptors responsible for phase shifting the circadian rhythm of activity in the bat, *Hipposideros speoris* // *Journal of Comparative Physiology*. 1985. 156:189–198.
254. Katabaro J.M., Yan Y., Hu T., Yu Q., Cheng X. A review of the effects of artificial light at night in urban areas on the ecosystem level and the remedial measures // *Frontiers in Public Health*. Vol. 10. 2022. P. 1–15.
255. Kloog I., Haim A., Stevens R.G., Barchana M., Portnov B.A. Light at night co-distributes with incident breast but not lung cancer in the female population of Israel // *Chronobiology International*. 2008. Vol. 25, No. 1. P. 65–81.
256. Kloog I., Haim A., Stevens R.G., Portnov B.A. Global co-distribution of light at night (LAN) and cancers of prostate, colon, and lung in men // *Chronobiology International*. 2009. Vol. 26, No. 1. P. 108–125.
257. Knop E., Zoller L., Ryser R. et al. Artificial light at night as a new threat to pollination // *Nature*. 2017. Vol. 548. P. 206–209.
258. Kohiyama M., Hayashi H., Maki N., Higashida M., Kroehl K. W., Elvidge C. D., Hobson V. R. Early damage area estimation system using DMSP-OLS night-time imagery // *International Journal of Remote Sensing*. 2004. Vol. 25(11). P. 2015–2036.
259. Kolláth Z., Száz D., Tong K.P., Kolláth K. Light Pollution Survey in Hungarian National Parks // *Acta Universitatis de Carolo Eszterházy Nominatae. Sectio Biologiae*. 2021.
260. Kotler B. P. Effects of illumination on the rate of resource harvesting in a community of desert rodents // *American Midland Naturalist*. 1984. 111:383–389.
261. Kramer K. M., Birney E. C. Effect of light intensity on activity patterns of Patagonian leaf-eared mice, *Phyllotis xanthopygus* // *Journal of Mammalogy*. 2001. 82:535–544.
262. Kureck A. Das Massenschwärmen der Eintagsfliegen am Rhein: Zur Rückkehr von *Ephoron virgo* (Olivier 1791) [The mass swarms of mayflies on the Rhine: to the return of *Ephoron virgo* (Olivier 1791)]. *Natur und Landschaft*. 1992. Vol. 67. P. 407–409.
263. Kyba C., Altintas Y. Ö., Walker C. E., Newhouse M. Citizen scientists report global rapid reductions in the visibility of stars from 2011 to 2022 // *Science*. 2023. Vol. 379, 6629. P. 265–268.
264. Kyba C.C., Coesfeld J. Satellite Observations Show Reductions in Light Emissions at International Dark Sky Places During 2012–2020 // *International Journal of Sustainable Lighting*. 2021. Vol. 23(2). P. 51–57.
265. Kyba C.C., Kuester T., Sánchez de Miguel A., Baugh K.E., Jechow A., Hölker F., Bennie J.J., Elvidge C.D., Gaston K.J., Guanter L. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent // *Science Advances*. 2017. Vol. 3.
266. Kyba C.C., Ruhtz T., Fischer J., Hölker F. Cloud Coverage Acts as an Amplifier for Ecological Light Pollution in Urban Ecosystems // *PLoS ONE*. 2011. Vol. 6.

267. Langevelde F van., Ettema J.A., Donners M., Wallis De Vries M.F., Groenendijk D. Effect of spectral composition of artificial light on the attraction of moths // *Biological Conservation*. 2011. Vol. 144. P. 2274–2281.
268. Larkin R. P., Frase B. A. Circular paths of birds flying near a broadcasting tower in cloud // *Journal of Comparative Psychology*. 1988. 102:90–93.
269. Lawson C.C., Johnson C.Y., Chavarro J.E. et al. Work schedule and physically demanding work in relation to menstrual function: the Nurses' Health Study 3 // *Scand J Work Environ Health*. 2015. 41(2):194–203.
270. Le Corre M., Ollivier A., Ribes S., Jouventin P. Light-induced mortality of petrels: a 4-year study from Réunion Island (Indian Ocean) // *Biological Conservation*. 2002. Vol. 105(1). P. 93–102.
271. Li G., Gao J., Li L., Hou P. Human pressure dynamics in protected areas of China based on nighttime light // *Global Ecology and Conservation*. 2020. Vol. 24. e01222
272. Li X., Hu H., Chen S. Artificial light at night causes community instability of bacteria in urban soils // *The Science of the total environment*. 2024. Vol. 921. 171129.
273. Liu Y., Speißer B., Knop E., van Kleunen M. The Matthew effect: Common species become more common and rare ones become more rare in response to artificial light at night // *Global Change Biology*. 2022. № 28(8322). P. 1–9.
274. Longcore T., Rich C. Ecological and Organismic Effects of Light Pollution // In: eLS. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester. November 2016.
275. Longcore T., Rich C. Ecological light pollution // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2004. Vol. 2. P. 191–198.
276. Lyytimäki J., Rinne R. Voices for the darkness: Online survey on public perceptions on light pollution as an environmental problem // *J. Integr. Environ. Sci.* 2013. Vol. 10. P. 127–139.
277. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES). Luxemburg, 2016. P. 98.
278. Mason I.C., Grimaldi D., Reid K.J., Warlick C.D., Malkani R.G., Abbott S.M., Zee P.C. Light exposure during sleep impairs cardiometabolic function // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2022. Vol. 119.
279. Massetti L., Paterni M., Merlino S. Monitoring Light Pollution with an Unmanned Aerial Vehicle: A Case Study Comparing RGB Images and Night Ground Brightness // *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14(2052).
280. Mayer-Pinto M., Jones Th.M., Swearer S. et al. Light pollution: a landscape-scale issue requiring cross-realm consideration. UCL Open: Environment Preprint. 2021.
281. Menatti L., Casado da Rocha A. Landscape and Health: Connecting Psychology, Aesthetics, and Philosophy through the Concept of Affordance // *Front. Psychol.* 2016. 7(705). P. 17.
282. Meng L., Zhou Y., O Román M., Stokes E.C., Wang Z., Asrar G.R., Mao J., Richardson A.D., Gu L., Wang Y. Artificial light at night: an underappreciated effect on phenology of deciduous woody plants // *PNAS Nexus*. May 2022. Vol. 1, Iss. 2. pgac046.

283. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. 2005.
284. Miller M.W. Apparent effects of light pollution on singing behavior of American robins // *Condor*. 2006. 108:130–139.
285. Molenaar J. G. de, Henkens R. J. H. G., Braak C. ter, Duyne C. van, Hoefsloot G., Jonkers D. A. Road illumination and nature, IV. Effects of road 40 Part I. Mammals lights on the spatial behaviour of mammals. Alterra, Green World Research, Wageningen, The Netherlands. 2003.
286. Morita T., Tokura H. Effects of lights of different color temperature on the nocturnal changes in core temperature and melatonin in humans // *Appl Human Sci*. 1996. 15:243–6
287. Mu H., Li X., Du X., Huang J., Su W., Hu T., Wen Y., Yin P., Han Y., Xue F. Evaluation of Light Pollution in Global Protected Areas from 1992 to 2018 // *Remote Sens*. 2021. 13, 1849.
288. Munro J. A. A preliminary report on the destruction of birds at lighthouses on the coast of British Columbia // *Canadian Field-Naturalist*. 1924. 38:141–145, 171–175.
289. Noor A. M., Alegana V. A., Gething P. W., Tatem A. J., Snow R. S. Using remotely sensed night-time light as a proxy for poverty in Africa // *Population Health Metrics*. 2008. 6(5). P. 1–13.
290. Ormeling F. Functionality of electronic school atlases. Seminar on Electronic Atlases II // *ICA Proceedings on National and Regional Atlases*. Prague. 1996. P. 33–39.
291. Padró R., José La Rota-Aguilera M. et al. Socioecological Integrated Analysis of the Green Infrastructure. Transition Scenarios for Land Use Planning of the Barcelona Metropolitan Area // *Land Use Policy*. 2023. 126(12):106558
292. Palliwoda J., Priess J. A. What do people value in urban green? Linking characteristics of urban green spaces to users' perceptions of nature benefits, disturbances, and disservices // *Ecology and Society*. 2021. 26(1), 28.
293. Panic M., Drobnjaković M., Stanojević G., Kokotovic-Kanazir V., Doljak D. Nighttime lights-innovative approach for identification of temporal and spatial changes in population distribution // *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA*. 2022. P. 51–66.
294. Peregrym M., Kabaš E., Tashev A., Dragičević S., Péntesné Kónya E., Savchenko M. Is Artificial Light at Night Dangerous for the Balkan Strict Protected Areas at Present? // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2020. 231. P. 1–15.
295. Pizág B., Kacz D., Nagy B.V. A drone-based photometric measurement platform // *Journal of Field Robotics*. 2022. Vol. 39. P. 1218–1230.
296. Poulin C., Bruyant F., Laprise M.-H., Cockshutt A.M., Vandenhecke J.M.-R., Huot Y. The impact of light pollution on diel changes in the photophysiology of *Microcystis aeruginosa* // *Journal of Plankton Research*. 2014. Vol. 36. P. 286–291.
297. Rall E., Bieling C., Zytynska S., Haase D. Exploring city-wide patterns of cultural ecosystem service perceptions and use // *Ecological Indicators*. 2017. Vol. 77. P. 80–95.
298. Ramírez F., Córdón Y., García D., Rodríguez A., Coll M., Davis L.S., Chiaradia A., Carrasco J.L. Large-scale human celebrations increase global light pollution // *People and Nature*. 2023. 5(5). 1–9.

299. Rand A. S., Bridarolli M. E., Dries L., Ryan M. J. Light levels influence female choice in Túngara frogs: predation risk assessment? // *Copeia*. 1997. P. 447–450.
300. Rich C., Longcore T. *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. Island Press, Washington. 2006. P. 458.
301. Rodrigo-Comino J., Seeling S., Seeger M., Ries J.B. Light pollution: A review of the scientific literature // *The Anthropocene Review*. 2021. Vol. 10. P. 367–392.
302. Rydell J., Baagøe H. J. Bats & streetlamps // *Bats*. 1996. 14:10–13.
303. Salmon M., Reiners R., Lavin C., Wyneken J. Behavior of logger-head sea turtles on an urban beach. I. Correlates of nest placement // *Journal of Herpetology*. 1995. 29:560–567.
304. Salmon M., Witherington B. E., Elvidge C. D. Artificial lighting and the recovery of sea turtles. Pages 25–34 in N. Pilcher and G. Ismail (eds.), *Sea turtles of the Indo-Pacific: research, management and conservation*. Asean Academic Press, London. 2000.
305. Samulin Erdem J., Skare Ø., Petersen-Øverleir M. et al. Mechanisms of breast cancer in shift workers: DNA methylation in five core circadian genes in nurses working night shifts // *J Cancer*. 2017. 8(15):2876–84.
306. Santos C.D., Miranda A.C., Granadeiro J.P., Lourenço P.M., Saraiva S.O., Palmeirim J.M. Effects of artificial illumination on the nocturnal foraging of waders // *Acta Oecologica-international Journal of Ecology*. 2010. Vol. 36. P. 166–172.
307. Sapkota A., Dong Y., Li L., Asrar G.R., Zhou Y., Li X., Coates F., Spanier A., Matz J., Bielory L., Breitenother A.G., Mitchell C.S., Jiang C. Association Between Changes in Timing of Spring Onset and Asthma Hospitalization in Maryland // *JAMA Network Open*. 2020. Vol. 3.
308. Savage J. M. *The amphibians and reptiles of Costa Rica: a herpetofauna between two continents, between two seas*. University of Chicago Press, Chicago. 2002.
309. Scheibe M.A. Über die Attraktivität von Straßenbeleuchtungen auf Insekten aus nahegelegenen Gewässern unter Berücksichtigung unterschiedlicher UV-Emission der Lampen [On the attractiveness of roadway lighting to insects from nearby waters with consideration of the different UV-emission of the lamps]. *Natur und Landschaft*. 1999. Vol. 74. P. 144–146.
310. Schlaepfer M. A., Runge M. C., Sherman P. W. Ecological and evolutionary traps // *Trends in Ecology & Evolution*. 2002. 17:474–480.
311. Sharma V. K., Chandrashekar M. K., Nongkynrih P. Daylight and artificial light phase response curves for the circadian rhythm in locomotor activity of the field mouse *Mus booduga* // *Biological Rhythm Research*. 1997. 28(Supplement):39–49.
312. Škvareninová 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.
313. Spencer R.L., Deak T. A users guide to HPA axis research // *Physiol Behav*. 2017. Sep 1:178:43–65.
314. Spoelstra K., Visser M. E. The impact of artificial light on avian ecology. In D. Gils, & H. Brumm (Eds.), *Avian Urban Ecology*. Oxford University Press. 2013. Vol. Part 1: Chap 2. P. 21–28

315. Spoelstra K., Visser M.E., Gils D., Brumm H. The impact of artificial light on avian ecology // *Biology*, 2013.
316. Stark H., Brown S., Dubé W.P., Wagner N.L., Ryerson T.B., Pollack I.B., Parrish D.B. Nighttime photochemistry: nitrate radical destruction by anthropogenic light sources // *AGU Fall Meeting Abstracts*. 2010. Vol. 12, No 1.
317. Stephan B. Die Amsel. Die Neue Brehm-Bücherei, Hohenwarsleben. 1999.
318. Stevens R.G. Electric power use and breast cancer: a hypothesis. // *Am. J. Epidemiol.* 1987. Vol. 125. P. 556–561.
319. Su J. Light Pollution: Economic Valuation Methods and a Market Solution // *Proceedings of the 2022 International Conference on Economics, Smart Finance and Contemporary Trade (ESFCT 2022)*. December 2022. P. 1322–1329.
320. Sung C. Light pollution as an ecological edge effect: Landscape ecological analysis of light pollution in protected areas in Korea // *Journal for Nature Conservation*. 2022. 66:126148
321. Sutton P., Roberts D., Elvidge C. D., Meij H. A Comparison of Nighttime Satellite Imagery and Population Density for the Continental United States // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 1997. 63(11). P. 1303–1313.
322. Szczepańska M., Wilkaniec A., Škamlová L. Visual pollution in natural and landscape protected areas: Case studies from Poland and Slovakia // *Quaestiones Geographicae*. 38(4). Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 2019. P. 133–149.
323. Tárano Z. Cover and ambient light influence nesting preferences in the Túngara frog *Physalaemus pustulosus* // *Copeia*. 1998. P. 250–251.
324. Tiebout H. M. III, Anderson R. A. Mesocosm experiments on habitat choice by an endemic lizard: implications for timber management // *Journal of Herpetology*. 2001. 35:173–185.
325. Tobias W. Sommernächtliches “Schneetreiben” am Main: zum Phänomen des Massenfluges von Eintagsfliegen [Summer nights “snow flurry” at the Main: on the phenomenon of the mass flight of mayflies]. *Natur und Museum*. 1996. 126(2):37–54.
326. UN Environment. Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People. Nairobi. 2019.
327. US-25 Widening, I-40 to Blue Ridge Parkway, Asheville, Environmental Impact Statement by United States Federal Highway Administration. 1977. P. 59.
328. US-54 Upgrade, Hoover Road to K-2, K-42 Interchange, I-235 Interchange Construction, Wichita, Environmental Impact Statement by United States Federal Highway Administration. 1981. P. 62.
329. Vásquez R. A. Assessment of predation risk via illumination level: facultative central place foraging in the cricetid rodent *Phyllotis darwini* // *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 1994. 34:375–381.
330. Veitch J.A., McColl S.L. Modulation of fluorescent light: Flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort // *Lighting Research and Technology*. 1995. Vol. 27. P. 243.

331. Wada K., Yata S., Akimitsu O., et al. A tryptophan-rich breakfast and exposure to light with low color temperature at night improve sleep and salivary melatonin level in Japanese students // *J Circadian Rhythms*. 2013. 11:4.
332. Wang F., Yeung K.L., Chan W.C. et al. A meta-analysis on dose-response relationship between night shift work and the risk of breast cancer // *Ann Oncol*. 2013. 24(11):2724–32.
333. 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 // *Environmental Science. Biology*, bioRxiv. 2022
334. Wang Y., Lu C., Pan X., Liu Z., Xia P., Zhang C., Liu Z. Spatiotemporal Patterns of Light Pollution on the Tibetan Plateau over Three Decades at Multiple Scales: Implications for Conservation of Natural Habitats // *Remote Sens*. 2022. Vol. 14, 5755.
335. Wang Y., Niemelä J., Kotze D.J. The delivery of Cultural Ecosystem Services in urban forests of different landscape features and land use contexts // *People and Nature*. 2022. Vol. 4(3). P. 1369–1386.
336. Werner Y. L. A guide to the reptiles and amphibians of Israel [in Hebrew] // Nature Reserve Authority, Jerusalem, Israel. 1995.
337. Wilkins A.J., Nimmo-Smith I., Slater A.I., Bedocs L. Fluorescent lighting, headaches, and eyestrain // *Lighting Research and Technology*. 1989. Vol. 21. P. 11.
338. Wiltschko R., Stapput K., Thalau P., Wiltschko W. Directional orientation of birds by the magnetic field under different light conditions // *Journal of The Royal Society Interface*. 2010. Vol. 7. P. 163–177.
339. Wiltschko W., Wiltschko R. Magnetic compass orientation in birds and its physiological basis // *Naturwissenschaften*. 2002. 89:445–452.
340. Wiltschko W., Wiltschko R. The effect of yellow and blue light on magnetic compass orientation in European robins, *Erithacus rubecula* // *Journal of Comparative Physiology*. 1999. 184:295–299.
341. Wiltschko W., Munro U., Ford H., Wiltschko R. Red light disrupts magnetic orientation of migratory birds // *Nature*. 1993.364:525–527.
342. Witherington B. E. Behavioral responses of nesting sea turtles to artificial lighting // *Herpetologica*, 1992. 48:31–39.
343. Witherington B. E., Martin R. E. Understanding, assessing, and resolving light-pollution problems on sea turtle nesting beaches. Florida Marine Research Institute Technical Report TR-2:1–73. 1996.
344. Wortman S.E., Lovell S.T. Environmental Challenges Threatening the Growth of Urban Agriculture in the United States // *Journal of Environmental Quality*. Vol. 42, Iss. 5. P. 1283–1294.
345. Xiang W., Tan M. Changes in Light Pollution and the Causing Factors in China's Protected Areas, 1992-2012 // *Remote Sensing*. 2017.Vol. 9(1026).
346. Yosemite National Park, General Management Plan, Environmental Impact Statement by United States National Park Service, Volume 1, Part 2. 1980. P. 45–47.

347. Zheng Q., Teo H.C., Koh L.P. Artificial Light at Night Advances Spring Phenology in the United States // Remote Sensing. 2021. Vol. 13, 399.
348. Насимович Ю.А. Реки, озера и пруды Москвы. 2010. URL: http://temnyjles.ru/Nasimovich_kraevedenie/reki.shtml
349. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). 2013. URL: <https://cices.eu/>
350. Global Environment Outlook (GEO-5). Доклад за 2012 год в рамках Программы ООН по окружающей среде. URL: <http://web.unep.org/geo/sites/unep.org/geo/files/>
351. International Dark-Sky Association. URL: <https://www.darksky.org/>
352. MIT OpenCourseWare. Lecture Notes. URL: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/41881/4-492Fall-2004/OcwWeb/Architecture/4-492Fall-2004/LectureNotes/index.htm>
353. TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2011). TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management. URL: www.teebweb.org
354. World Urbanization Prospects 2018. The Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations. 2018. URL: <https://population.un.org/wup/>

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Эколого-географические описания комплексных природных заказников Москвы

Природный заказник «Аннинский». Создан в 2021 г. Площадь – 9,5 га. Расположен в непосредственной близости от МКАД, которая является источником шумового и химического загрязнения. Заказник находится на участке пологоволнистой равнины, в основе гидрографической сети – Завьяловский ручей и небольшой пруд⁷². В заказнике произрастают разнотравные дубово-липовые леса на дерново-подзолистых почвах, в южной части заказника находится низинное болото с доминированием рогоза широколистного и тростника южного. В Красную книгу Москвы включены 3 вида растений и 7 видов животных. По территории заказника протоптаны две стихийные дорожки.

Природный заказник «Воробьевы горы». Эколого-географическая характеристика дана в основном тексте диссертации.

Природный заказник «Дегунинский». Создан в районе Восточное Дегунино в 2010 г. Площадь – 8,5 га. Расположен на равнинном участке пологоволнистой равнины⁷³. На сильно трансформированных дерново-подзолистых почвах сформированы парковые искусственные насаждения дуба, в подлеске – редкие кустарники сирени обыкновенной, караганы древовидной, бузины красной и др. Наземный растительный покров представлен регулярно скашиваемым разнотравным газоном с преобладанием мятлика, ежи сборной, клевера ползучего и т.д. Встречаются редкие для Москвы ландыш майский, фиалка собачья. Представителями животного мира являются белоспинный дятел и обыкновенная кукушка (внесена в Красную книгу Москвы). Источниками негативного антропогенного воздействия (загрязнения атмосферного воздуха, шумового и вибрационного) являются прилежащие к заказнику автодороги и железная дорога Савеловского направления. Рекреационная нагрузка умеренная – заказник является местом притяжения горожан, проживающих в его окрестностях.

Природный заказник «Долина реки Сетунь». Создан в 1998 г. Заказник состоит из 7 участков общей площадью 700 га⁷⁴. Расположен в Западном административном округе, в районах

⁷² Кадастровое дело – № 027. Особо охраняемая природная территория регионального значения «Природный заказник «Аннинский». Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. – 2021 г. – 8 с.

⁷³ Кадастровое дело – № 007. Особо охраняемая природная территория регионального значения «Природный заказник «Дегунинский». Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. – 2010 г. – 8 с.

⁷⁴ Кадастровое дело – № 002. Особо охраняемая природная территория регионального значения «Природный заказник «Долина реки Сетунь». Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. – 1998 г. – 48 с.

Можайский, Раменки, Фили-Давыдково и Очаково-Матвеевское. Территория ООПТ вытянута на 10 км вдоль русла р. Сетунь и ее притоков. На дерново-подзолистых и аллювиальных почвах заказника произрастает тополь, осина, ива, ольха, дуб, береза, вяз и др. виды деревьев. Заказник является одним из самых богатых в Москве с точки зрения биоразнообразия: 635 видов растений, 20 видов млекопитающих, почти 100 видов птиц и 3 вида пресмыкающихся и земноводных, из которых в Красную книгу Москвы, соответственно, внесены 43 вида растений, 7 видов млекопитающих и 9 видов птиц. Рекреационные нагрузки на заказник в целом незначительны – заказник посещают преимущественно горожане, живущие близ заказника, на многих участках отсутствует какая-либо рекреационная инфраструктура (Волынский лес, Матвеевский лес и др.). В речной воде Сетуни зафиксировано значительное повышение концентрации тяжелых металлов, нитратов, хлоридов, сульфатов, что связано с хозяйственно-бытовыми и промышленными стоками. Источниками загрязнения также являются свалки бытового мусора на берегах реки, гаражи, несанкционированные огороды.

Природный заказник «Жулебинский». Создан в 2020 г. в районе Выхино-Жулебино, близ МКАД. Площадь – 112 га. Рельеф ООПТ равнинный. Почвенный покров представлен дерново-подзолистыми почвами, на котором произрастают преимущественно сосновые с участием березы леса, также встречаются липа мелколистная, дуб черешчатый, ель европейская и др.⁷⁵ В Красную книгу Москвы внесены 7 видов произрастающих там растений и 10 видов животных. Основным источником загрязнения является автотранспорт. На территории заказника наблюдается густая тропиновая сеть, степень благоустройства территории низкая.

Природный заказник «Северный». Создан в 2020 г. в районе Северный. Площадь трех участков, составляющих заказник – 93,5 га⁷⁶. Рельеф территории пологий. В древесном покрове преобладают березовые с примесью сосны и ели леса, встречаются дуб, клен и липа. 13 видов растений и 47 животных, встречающихся в ООПТ, внесены в Красную книгу Москвы. В заказнике проложено несколько троп, однако уровень благоустройства территории крайне низкий, что является причиной малой привлекательности ООПТ для рекреантов. Выбросы автотранспорта от проходящих близ заказника Дмитровского шоссе и МКАД оказывает влияние на загрязнение атмосферного воздуха.

⁷⁵ Кадастровое дело – № 008. Особо охраняемая природная территория регионального значения «Природный заказник «Жулебинский». Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. – 2020 г. – 9 с.

⁷⁶ Кадастровое дело – № 013. Особо охраняемая природная территория регионального значения «Природный заказник «Северный». Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. – 2020 г. – 11 с.

Природный заказник «Склоны долины реки Москвы в Сабурово». Созданный в 2021 г., заказник расположен на правом берегу р. Москвы, в районе Москворечье-Сабурово⁷⁷. Площадь – 4 га. Природный заказник по сути является частью Братеевского каскадного парка, характеризующегося высокой антропогенной трансформацией природных ландшафтов и высокой рекреационной нагрузкой. Рассматриваемый участок склона расположен в пределах поймы р. Москвы. Рельеф волнистый, измененный насыпными грунтами и искусственными понижениями. Сам склон подвержен оползневым и суффозионным процессам, наблюдаются мелкие поверхностные оползни и оплывины. Наземный растительный покров вытоптан, представляет собой скашиваемый газон. Растений и животных, внесенных в Красную книгу, на территории ООПТ не зафиксировано. Тем не менее оползневая активность, наблюдающаяся на склонах, требовала наделения этой территории природоохранным статусом для недопущения дальнейшего хозяйственного освоения. Негативное антропогенное воздействие выражено в виде фонового загрязнения атмосферного воздуха.

Природный заказник «Троицкий». Создан в 2021 г. Площадь – 17,1 га. Заказник расположен в районе Теплый Стан, близ МКАД. Рельеф равнинный, территория располагается на верхней ступени Теплостанской возвышенности. Почвы дерново-подзолистые⁷⁸. Древесный покров представлен дубом и липом с примесью березы, на влажных участках произрастают ива и осока. В заказнике встречается 7 видов растений и 12 видов животных, внесенных в Красную книгу Москвы. Рекреационная нагрузка невелика, в заказнике проложено несколько тропинок, вдоль которых поставлены скамейки. Источником загрязнения атмосферного воздуха является прилегающая к заказнику с запада МКАД.

Природный заказник «Долина реки Горетовки». Создан в 2023 г. Площадь – 105,5 га. Расположен в районе Крюково Зеленоградского административного округа, в 18 км от МКАД⁷⁹. Заказник расположен на речном склоне и в пойме реки Горетовки, которая является основой формирования гидрографической сети. Рельеф пологоволнистый, с понижениями к долинам реки и ручьям. Антропогенная трансформация ландшафтов незначительна, наблюдается близ транспортных магистралей. На дерново-подзолистых почвах, дерново-дуговых и болотных

⁷⁷ Кадастровое дело – № 026. Особо охраняемая природная территория регионального значения «Природный заказник «Склоны долины реки Москвы в Сабурово». Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. – 2021 г. – 6 с.

⁷⁸ Кадастровое дело – № 021. Особо охраняемая природная территория регионального значения «Природный заказник «Троицкий». Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. – 2021 г. – 8 с.

⁷⁹ Кадастровое дело – № 028. Особо охраняемая природная территория регионального значения «Природный заказник «Долина реки Горетовки». Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. – 2023 г. – 7 с.

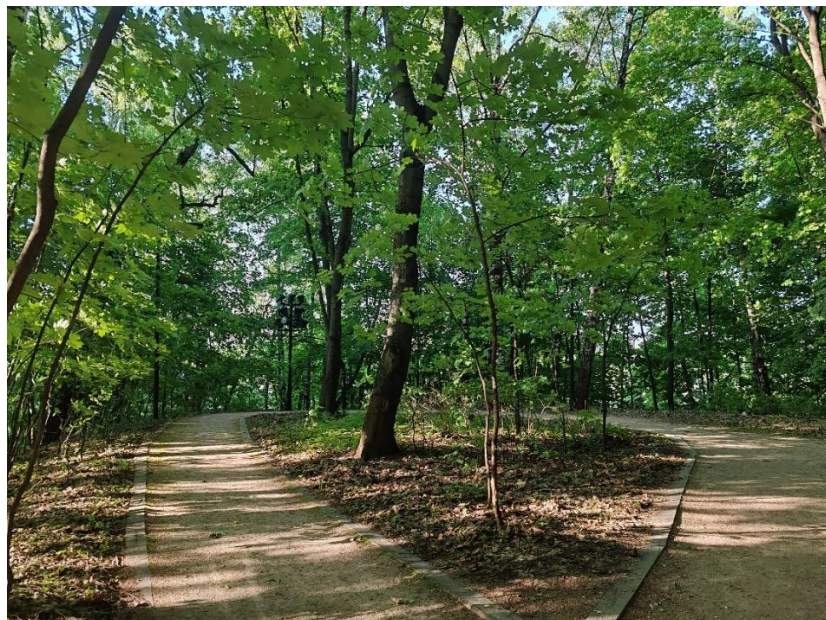
почвах произрастают сосново-еловые и дубово-еловые леса, на влажных участках – заросли осоки. На территории заказника обитают около 50 видов птиц, 2 вида земноводных и 9 видов пресмыкающихся. В Красную книгу Москвы занесены 3 вида растений и 7 видов животных.

Природный заказник «Долина реки Сходни в Алабушево». Создан в 2021 г. в 22 км от МКАД, близ села Алабушево городского округа Солнечногорск⁸⁰. Включает три участка общей площадью 44,5 га. Заказник расположен на пологой равнине. В почвенном покрове преобладают дерново-подзолистые почвы с разной степенью оглеения, на которых произрастают дубовые леса. 20 видов растений и 8 видов животных внесены в Красную книгу Москвы. Источниками антропогенного воздействия являются железная дорога, а также расположенные по периметру ООПТ промышленные и коммунальные предприятия, загрязняющие поверхностные и подземные воды. Рекреационная нагрузка практически отсутствует, т.к. в зоне пешеходной доступности объектов жилой застройки нет.

⁸⁰ Кадастровое дело – № 025. Особо охраняемая природная территория регионального значения «Природный заказник «Долина реки Сходни в Алабушево». Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. – 2021 г. – 8 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Фотографии тестовых участков геоботанических исследований



Участок 1с

Техногенно выровненная надпойменная терраса, сложенная делювиальными суглинками, деформируемая оползновыми процессами, под березовыми разнотравными искусственными насаждениями на урбоземах дерново-подзолистого типа.

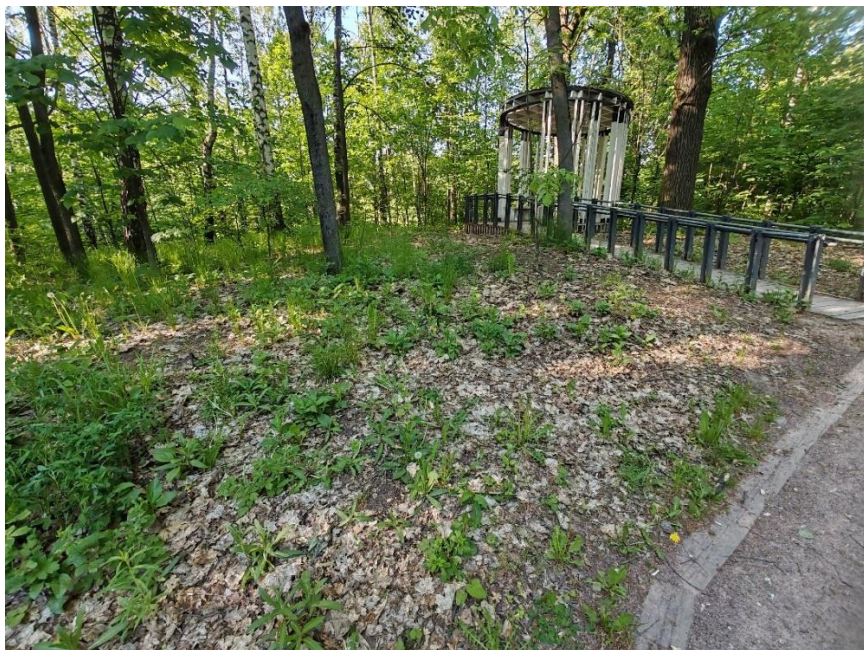
Состав наземного растительного покрова – см. 4.1.3.



Участок 1ф

Техногенно выровненная надпойменная терраса, сложенная делювиальными суглинками, деформируемая оползновыми процессами, под березовыми разнотравными искусственными насаждениями на урбоземах дерново-подзолистого типа.

Состав наземного растительного покрова – см. 4.1.3.



Участок 2с

Ложбина эрозионно-оползневая, сложенная делювиальными суглинками, деформируемая оползновыми процессами, под кленово-липовыми с участием березы разнотравными малонарушенными лесами на дерновых оглеенных почвах.

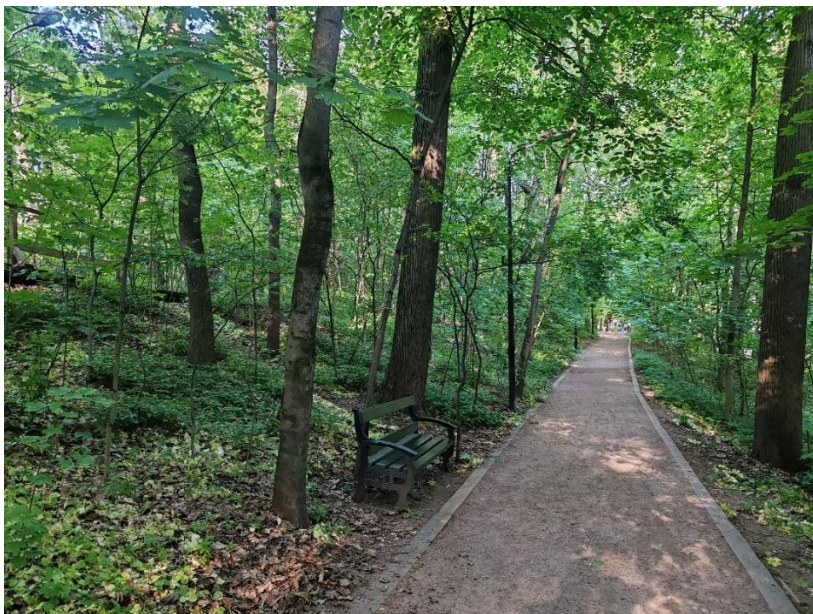
Состав наземного растительного покрова – см. 4.1.3.



Участок 2ф

Ложбина эрозионно-оползневая, сложенная делювиальными суглинками, деформируемая оползновыми процессами, под кленово-липовыми с участием березы разнотравными малонарушенными лесами на дерновых оглеенных почвах.

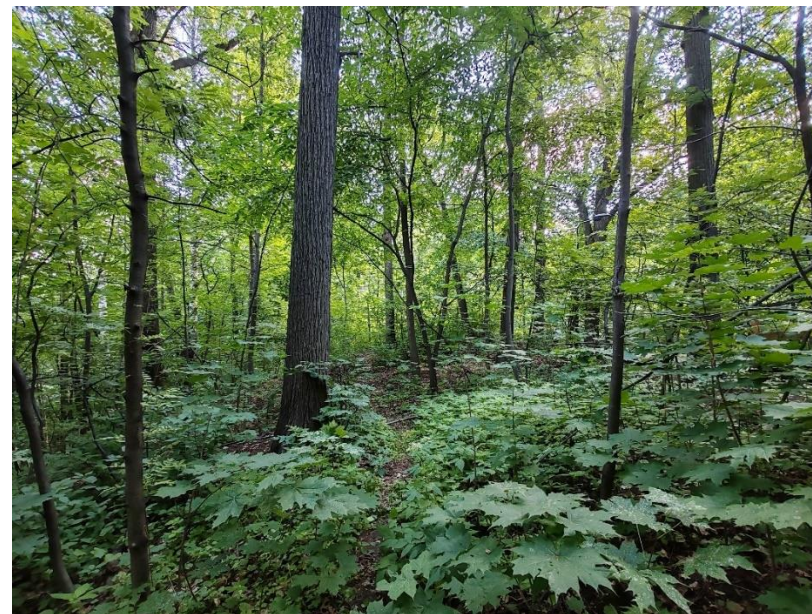
Состав наземного растительного покрова – см. 4.1.3.



Участок 3с

Ложбина эрозионно-оползневая, сложенная делювиальными суглинками, деформируемая оползновыми процессами, под кленово-липовыми с участием березы разнотравными малонарушенными лесами на дерновых оглеенных почвах.

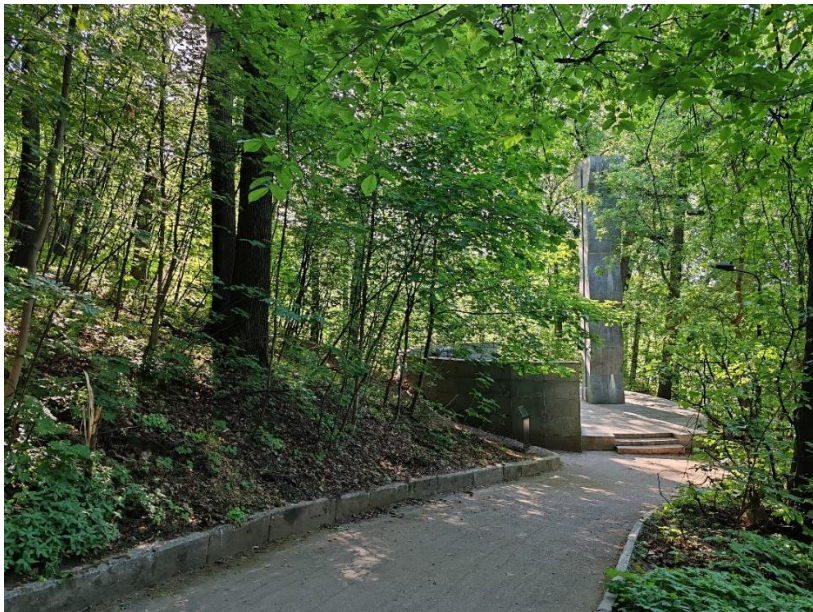
Состав наземного растительного покрова – см. 4.1.3.



Участок 3ф

Ложбина эрозионно-оползневая, сложенная делювиальными суглинками, деформируемая оползновыми процессами, под кленово-липовыми с участием березы разнотравными малонарушенными лесами на дерновых оглеенных почвах.

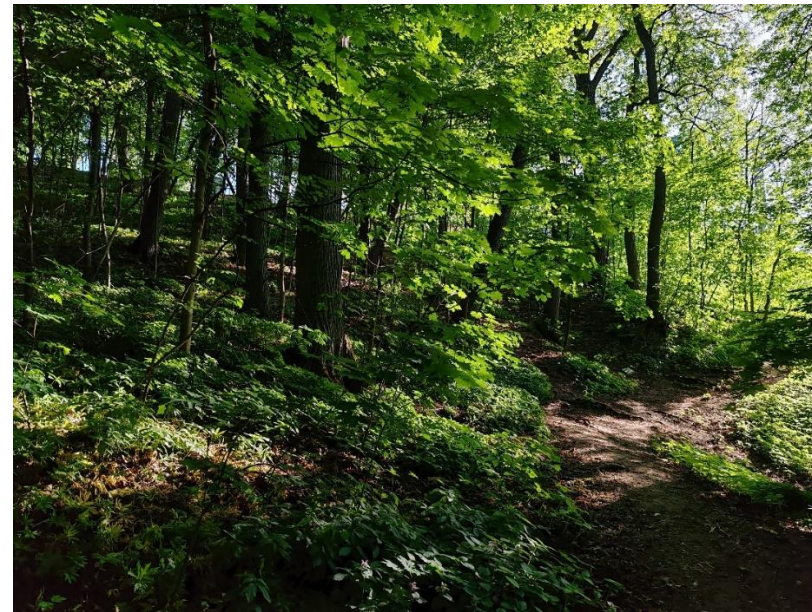
Состав наземного растительного покрова – см. 4.1.3.



Участок 4с

Склон крутой, сложенный маломощными (до 1 м) делювиальными суглинками, деформируемый оползновыми процессами, под кленово-липовыми с участием березы разнотравными малонарушенными лесами на дерновых, местами смытых почвах.

Состав наземного растительного покрова – см. 4.1.3.



Участок 4ф

Склон крутой, сложенный маломощными (до 1 м) делювиальными суглинками, деформируемый оползновыми процессами, под кленово-липовыми с участием березы разнотравными малонарушенными лесами на дерновых, местами смытых почвах.

Состав наземного растительного покрова – см. 4.1.3.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Данные социологического исследования

Анкета

Уважаемые респонденты!

Анкетирование проводится кафедрой физической географии мира и геоэкологии Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Ответы на заданные вопросы позволят определить экономическую и эстетическую ценность ландшафтов природного парка «Воробьевы горы».

Все сведения, указанные в анкете, являются строго конфиденциальными и будут использованы только для обработки в научных целях!

1. Пол:

2. Возраст:

3. Где Вы живете? Москва, район / регион:

4. *[Если не живете в Москве, то]* откуда Вы узнали о Воробьевых горах?
.....

5. С какими целями Вы посещаете парк «Воробьевы горы»?

- a. Прогулки на природе
- b. Физкультура, спорт (посещение соревнований, марафоны, лыжные соревнования...)
- c. Экскурсия
- d. Отдых с ребенком на детской площадке
- e. Отдых, тишина, знакомство с природой (наблюдения за птицами, растениями и т.д.)

6. Как часто Вы посещаете природный парк «Воробьевы горы»?

- 2-3 раза в год и реже
- Несколько раз в год
- Несколько раз в месяц
- Несколько раз в неделю

7. Знаете ли Вы, что природный парк «Воробьевы горы» является заповедной природной территорией?

Да / Нет

8. Представьте, что вход в парк стал платным. Какую сумму Вы готовы отдавать за вход?

Максимум _____ руб.

9. Какие участки парка кажутся Вам наиболее красивыми? Выберите 3 наиболее эстетичных пейзажа из 8-и представленных?

1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6 / 7 / 8

10. Ухудшает ли застройка (строительная площадка, спортивные сооружения, прочие строения) эстетику природы?

Да / Нет

11. В какое время года пейзажи кажутся Вам наиболее красивыми?

Весна / Лето / Осень / Зима

12. Считаете ли Вы достаточным уровень освещения в парке по вечерам?

Да / Нет / Не знаю

13. Нравится ли Вам ландшафтная подсветка?

Да / Нет

14. Искажает ли подсветка отдельных участков парка естественный природный вид парка?

Да / Нет

15. Знаете ли Вы о негативном влиянии этой подсветки на птиц?

Да / Нет

16. Ландшафтная подсветка отдельных участков парка нужна:

постоянная или временная
(по праздникам / выходным / в определенные часы)

17. Выберите утверждение, с которым Вы наиболее согласны?

а. Парк «Воробьевы горы» расположен в черте города, поэтому упор должен делаться на развитие территории для отдыха горожан.

б. Парк «Воробьевы горы» является заповедной природной территорией, поэтому упор должен делаться на защиту окружающей среды.

с. Развитие инфраструктуры для отдыха горожан и природоохранная деятельность в парке должны быть сбалансированы.

д. Свой вариант:

.....
.....
.....

18. Ваши предложения по развитию инфраструктуры парка (по желанию):

.....
.....
.....