

ФОРМИРОВАНИЕ БИОИНДИКАЦИОННОЙ СЕТИ МИНСКА И ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРИРОДНО- ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В. В. Махнач

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь, mahnachv@bsu.by

В статье рассматривается процесс формирования биоиндикационной сети Минска, направленной на оценку устойчивости природно-территориальных комплексов. Анализируются ключевые факторы, влияющие на биоразнообразие и экосистемную устойчивость в городских условиях. Оценивается влияние антропогенной деятельности на экосистемы, а также предлагаются методы биомониторинга и возможности управления природными ресурсами. Результаты исследования могут быть использованы для разработки стратегий устойчивого развития и охраны окружающей среды в городских агломерациях.

Ключевые слова: биоиндикационная сеть; устойчивость; природно-территориальные комплексы (ПТК); биоразнообразие; экосистемные услуги; антропогенное воздействие; биомониторинг; управление природными ресурсами.

Введение. В современном мире городская среда играет ключевую роль в формировании экологических условий и влияет на качество жизни человека. Стремительное развитие урбанизированных территорий, сопровождаемое множеством антропогенных изменений, требует внимательного изучения и оценки состояния окружающей среды. В этом контексте особенно актуальным становится создание биоиндикационной сети, которая позволит эффективно оценивать устойчивость природно-территориальных комплексов и их способность адаптироваться к техногенным трансформациям.

Специфика городской среды заключается в том, что она не только подвергается воздействию различных антропогенных факторов, но и сама становится значительным фактором влияния на природные системы и комплексы, а также на здоровье населения.

Для обеспечения устойчивого развития городских экосистем необходимо учитывать их уникальные особенности и разрабатывать стратегии оптимизации на основе принципов, таких как усиление автотрофности, регулярный биомониторинг состояния эко- и геосистем, а также повышение экологической культуры среди жителей. Эти меры

помогут создать более гармоничное сосуществование человека и природы в условиях урбанизации.

Материалы и методы исследований. Фактический материал для исследования был получен в результате комплекса биоиндикационных наблюдений, проведенных автором в 2021-2024 гг. в различных районах Минска, характеризующихся различной урбоэкологической нагрузкой. Объектами наблюдений стали образцы лишенофлоры и хвоя сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

В ходе исследования было обследовано 500 деревьев сосны обыкновенной, а лабораторному анализу подверглось 1600 проб. Для обеспечения точности взвешивания использовались аналитические весы Ohaus PA214. Анализ содержания хлорофилла *a*, *b* и *a+b*, а также каротиноидов *b* проводился с помощью спектрофотометра PV 1251 (Госреестр СИ РБ №14324). В качестве растворителя и контроля применялся чистый спирт (96%), а для нейтрализации клеточного сока использовался карбонат кальция (CaCO₃ ОСЧ). Подробности методики и анализа можно найти в работах Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. (2003) [1] и Хайрулина Т.П. (2015) [2].

Сбор хвои для спектрометрии проводился в феврале-марте 2023 года. Методами лишеноиндикации было обследовано 300 деревьев, отобрано более 1000 образцов лишенофлоры, что позволяет получить комплексную картину состояния экосистемы. Методика лишеноиндикации подробно описана в работе Бязрова Л.Г. (2002) [3].

Результаты и их обсуждение. Формирование компонентов урбанизированной среды значительно влияет на воздушный бассейн города, что обусловлено сложными взаимодействиями между различными элементами экосистемы. Глубокие преобразования природных геосистем в процессе урбанизации приводят к изменению микроклимата, что подтверждается взаимосвязями между рельефом, геологической средой, почвенным покровом, растительностью и антропогенной средой.

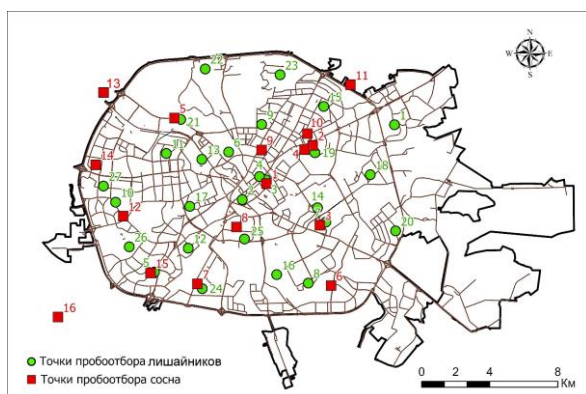
Искусственные поверхности, такие как асфальт, бетон и стекло, нарушают водный и радиационный баланс, что, в свою очередь, сказывается на качестве воздуха. Многоэтажные здания создают преграды для воздушных потоков, изменяя тепловой режим и аэрацию. Промышленные и транспортные выбросы добавляют в атмосферу вредные пылевые и газовые примеси, включая углекислый газ и сернистые соединения, что негативно сказывается на растительности и фотосинтезе.

Уплотнение почвы из-за рекреационной нагрузки ухудшает ее физические свойства и водопроницаемость, что приводит к изменению влажности и аэрации. Повышенная температура почвы в городских условиях

также оказывает негативное воздействие на корни растений, что способствует формированию индустриозем.

Компоненты урбанизированной антропоэкосистемы взаимосвязаны и оказывают сложное влияние на радиационный, тепловой, аэрационный и влажностный режимы окружающей среды. Учитывая эти взаимосвязи, необходимо подходить к планированию городской среды с целью сохранения экологического равновесия и здоровья населения.

Наблюдение за лишенофлорой и сосной обыкновенной в пределах мониторинговой сети (рисунок) позволил установить 8 ПТК с различной степенью устойчивости к антропогенной нагрузке.



Сеть отбора проб для биондикационной оценки окружающей среды г. Минска по сосне обыкновенной и лишайникам:

для отбора хвои сосны обыкновенной: 1 – Центральный детский парк имени Максима Горького; 2 – Парк культуры и отдыха имени Челюскинцев; 3 – Парк культуры и отдыха имени 50-летия Великого Октября; 4 – Центральный ботанический сад НАН Беларуси; 5 – насаждения сосны обыкновенной в районе Института физкультуры; 6 – Парк имени 900-летия города Минска; 7 – Парк «Курасовщина»; 8 – район ул. Воронянского – Жуковского; 9 – район ул. Куйбышева; 10 – бульвар Толбухина; 11 – лесопарк «Зеленый Луг»; 12 – лесопарк «Медвежино»; 13 – насаждения сосны обыкновенной в районе аг. Ждановичи; 14 – Парк имени Уго Чавеса; 15 – Парк имени Михаила Павлова; 16 – эталонный участок (д. Озерцо, Минский район, Минская обл.).

для отбора лишайниковых сообществ: 1 – Геологический памятник природы республиканского значения «Парк камней»; 2 – Михайловский сквер; 3 – Центральный детский парк имени Максима Горького; 4 – Парк им. Янки Купалы; 5 – Парк имени Михаила Павлова; 6 – Парк Победы; 7 – Парк культуры и отдыха имени 50-летия Великого Октября; 8 – Парк имени Надежды Грековой; 9 – Парк Дружбы народов; 10 – лесопарк «Медвежино»; 11 – Тропа здоровья; 12 – МКСИ, 13 – МЗОО; 14 – МТЗ; 15 – МЗТ; 16 – Парк Серебрянский; 17 – Сквер Полянка; 18 – Парк Степянка; 19 – Парк культуры и отдыха имени Челюскинцев; 20 – Лесопарк Ангарская; 21 – Парк Веснянский; 22 – Лесопарк Новинки; 23 – Зеленая зона вокруг Цнянского водохранилища; 24 – Парк «Курасовщина»; 25 – Сквер «Сеножаны»; 26 – Экотропа «Яблоневый сад»; 27 – Парк Парсученко

Анализ ландшафтных районов г. Минска показывает, что устойчивость естественная (потенциальная) и геохимическая устойчивость ПТК варьируются в зависимости от географических и геологических характеристик каждого района.

1. Северо-западный придолинный район демонстрирует относительно устойчивые условия как по естественной, так и по геохимической устойчивости, что может свидетельствовать о его способности сохранять экосистемные функции при определенных антропогенных нагрузках.

2. Центральный придолинный район характеризуется неустойчивыми условиями, что указывает на высокую уязвимость к изменениям в окружающей среде, особенно в условиях урбанизации. Низкая геохимическая устойчивость также подчеркивает необходимость мониторинга и защиты этого района от загрязнений.

3. Юго-восточный придолинный район имеет относительно устойчивые природные условия, но низкая геохимическая устойчивость может ограничивать его способность к восстановлению после негативных воздействий.

4. Восточный придолинный район демонстрирует переходные характеристики, что говорит о возможностях для улучшения устойчивости через грамотное управление природными ресурсами и минимизацию антропогенной нагрузки.

5. Юго-западный придолинный район выделяется высокой устойчивостью как естественной, так и геохимической, что делает его важным для сохранения биологического разнообразия и экосистемных услуг.

6. Северо-восточный район показывает переходные характеристики с высокой геохимической устойчивостью, что открывает перспективы для устойчивого развития и сохранения природных ресурсов.

7. Северо-восточный холмисто-волнистый район также демонстрирует высокую устойчивость, что делает его важным элементом экосистемы города.

8. Западный район с очень высокой устойчивостью как естественной, так и геохимической служит примером для других районов в плане устойчивого управления природными ресурсами.

Таким образом, результаты анализа показывают, что ландшафтные районы Минска имеют различные уровни устойчивости, что должно учитываться при планировании городской среды и разработке стратегий по охране окружающей среды. Устойчивые районы могут служить основой для создания зеленых коридоров и поддержания биологического разнообразия, тогда как менее устойчивые требуют активных мер по защите и восстановлению эко- и геосистем.

Заключение. Анализ ландшафтных районов г. Минска выявил значительные различия в уровнях устойчивости как естественной, так и геохимической. Устойчивые районы, такие как северо-западный и юго-западный придолинные, играют ключевую роль в сохранении экосистемных функций и биологического разнообразия, предоставляя важные ресурсы для устойчивого развития города. В то же время, районы с низкой устойчивостью, например, центральный придолинный, требуют особого внимания и активных мер по охране и восстановлению, чтобы минимизировать негативные последствия антропогенной нагрузки.

Для более детального биомониторинга состояния окружающей среды в Минске была создана сеть отбора проб для биондикационной оценки, основанная на анализе хвои сосны обыкновенной и лишайников. Это позволило более точно оценивать экологическое состояние различных районов города. Места отбора хвои сосны включают 16 ключевых точек, таких как Центральный детский парк имени Максима Горького и Парк культуры и отдыха имени Челюскинцев, а также эталонный участок в д. Озерцо. Аналогично, для лишайниковых сообществ предусмотрены 27 точек наблюдения, включая Геологический памятник природы республиканского значения «Парк камней» и Парк Победы.

Переходные характеристики некоторых районов открывают возможности для внедрения эффективных стратегий управления природными ресурсами, направленных на повышение их устойчивости. Важно учитывать эти различия при планировании городской среды и разработке экологических инициатив, что позволит создать гармоничное сосуществование человека и природы в Минске. Таким образом, результаты данного анализа служат основой для формирования стратегий по охране окружающей среды и устойчивому развитию городской территории, обеспечивая баланс между урбанизацией и сохранением природных ресурсов.

Антропогенное загрязнение в Минске приводит к снижению содержания хлорофилла и каротиноидов в растительности на 30-40 %. Пигментный состав хвои сосны может служить индикатором уровня загрязненности. Рекомендуется защищать водно-зеленый диаметр города для сохранения биоразнообразия и улучшения качества воздуха. Необходимо применять экосистемный подход в градостроительных планах для создания устойчивых городских сред.

Включение биоиндикации в систему Национального мониторинга окружающей среды позволит оперативно выявлять проблемы с качеством воздуха. Соблюдение баланса зеленых насаждений на 1000 жителей важно для здоровья городской среды.

Модернизация рекреационных зон и создание лесопарковых защитных зон вокруг Минска помогут сохранить природные ландшафты и биоразнообразие. Изучение опыта других агломераций может помочь в улучшении экологической ситуации.

Создание информационно-аналитической системы с использованием геоинформационных технологий поможет эффективно управлять ресурсами. Вывод промышленных предприятий за пределы города и стимуляция экологического образования населения будут способствовать снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Библиографические ссылки

1. *Гавриленко В. Ф., Жигалова Т. В.* Большой практикум по фотосинтезу. Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 510600 «Биология» и специальностям 011600 «Биология», 012000 «Физиология» / Под ред. профессора И. П. Ермакова. М. : Издательский центр «Академия». 2003. 256 с.
2. *Хайрулина Т. П.* Лабораторный практикум по методам экологических исследований: учебное пособие. Благовещенск : ДальГАУ, 2015. 143 с.
3. *Бязров Л. Г.* Лишайники в экологическом мониторинге. М. : «Научный мир», 2002. 336 с.