

## **МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ГОРОДСКИХ ООПТ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ФУНКЦИЙ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ**

**Ключевые слова:** мониторинг, лесные экосистемы, ООПТ, программирование, actionscript 3.0.

В настоящее время в связи с ростом значения природоохранной составляющей в современной системе природопользования стала очевидной необходимость расширения программы мониторинга состояния лесных экосистем. Особой остроты эта задача достигает в сфере территориальной охраны природы в урбанизированных условиях. Так, современные социальные и природоохранные тенденции таковы, что все больше и больше лесопарковых массивов внутри городов с различной численностью населения и в границах пригородных зон приобретают статус особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Такое положение влечёт необходимость получения наиболее полного представления о природоохранной ценности сохранившихся природных и природно-антропогенных фрагментов на городской территории. Последнее предполагает получение достаточно широкого спектра характеристик состояния биотического ядра обследуемых экосистем, в том числе и лесных.

Городские ООПТ по большому счету имеют такую же эколого-социальную значимость как ООПТ федерального уровня (заповедники, национальные парки, государственные заказники). Но специфика месторасположения вносит существенные коррективы в функциональные возможности ООПТ в городских условиях, что связано, прежде всего, с объективной необходимостью выполнения ими рекреационной функции в той же степени

как и экологической и природоохранной. Лесная рекреация в потребительском отношении – один из видов биологического природопользования, своеобразная форма эксплуатации биологических ресурсов леса, в которой преобладает их косвенное использование. В экологическом отношении рекреация – это комплекс экзогенных воздействий на природные экосистемы, вызывающий многоплановые, как правило, отрицательные последствия для целостности и устойчивости биотических сообществ. Экосистемы рекреационных лесов в условиях ненормированного, неконтролируемого использования претерпевают прогрессирующие во времени негативные структурные и функциональные изменения, обозначаемые как рекреационная дигрессия. Поэтому в подавляющем большинстве случаев рекреационное воздействие является ведущим фактором дестабилизации городских лесных.

Состояние городских лесных экосистем является информативным интегральным индикатором степени экологического благополучия урбанизированной территории. Его оценка требует многокритериального подхода, поскольку с одной стороны лесные экосистемы по природе своей отличаются сложной структурой, а с другой – в урбанизированных условиях испытывают многофакторное антропогенное воздействие.

При многокритериальной оценке вызывает затруднение то положение, что экологические параметры, которые необходимо оптимизировать в единый качественный показатель, будучи разными по своей природе, имеют различную размерность. К тому же процедура количественного ранжирования частных критериев при этом сопряжена с субъективизмом, неопределенностью, так как способ интервального разбиения количественных и качественных шкал имеет, как правило, экспертный, не формализованный характер.

Один из подходов формализации субъективных неопределенностей в многокритериальных задачах был разработан в 1963 году С. Харрингтоном: для описания частных критериев и ограничений им было предложено использование функций желательности.

В основе метода оптимизации с использованием функций желательности лежит приём мультипликативной свёртки векторного критерия. Суммарный отклик рассчитывается, как обобщенная функция желательности:

$$D = \sqrt[n]{d_1 d_2 \dots d_i},$$

где  $d_i$  - частная функция желательности ( $i = 1 \div n$ ).

Таблица 1. Базовые отметки шкалы желательности

Количественные отметки на шкале желательности	Желательность значения отклика
0,80 - 1,00	Очень хорошо
0,63 - 0,80	Хорошо
0,37 - 0,63	Удовлетворительно
0,20 - 0,37	Плохо
0,00 - 0,20	Очень плохо

Т.е. обобщенная функция желательности задается как среднее геометрическое частных желательностей  $d_i$ . Последние представляют собой значения натуральных значений частных откликов, которые преобразованы в безразмерную шкалу желательности (предпочтительности) и принимают значения, непрерывно возрастающие от 0 до 1 при изменении соответствующего параметров качества от наименее к наиболее желательным состояниям.

Функция желательности Харрингтона  $d = \exp[-\exp(-y')]$ , где  $y'$  - кодированное значение признака. Функция Харрингтона имеет несколько критических точек (ординаты точек перегиба), что позволяет задавать границы градаций желательности не произвольным, а строгим образом (табл. 1).

Метод функций желательности представляет собой математический инструментарий перевода реальных значений параметров в единую безразмерную числовую шкалу с фиксированными границами и отображения частных количественных шкал в обобщенные шкалы критериев качества. Именно возможность перехода от реальных значений экологических факторов (параметров) к безразмерным величинам, позволяющая увязывать ряды количественных и качественных показателей, является привлекательной стороной метода функций желательности при обработке результатов экологических наблюдений и делает процедуру экспертной оценки более прозрачной. При этом граничные значения функции соответствуют градациям «плохо-хорошо», что дает возможность диагностировать любое конкретное значение какого-либо экологического параметра не только по его абсолютной величине, но и по тому, насколько эта величина близка к области ухудшения или даже деградации экосистемы.

Таким образом, этот подход к оптимизации многокритериальной оценки результатов лесоэкологического мониторинга перспективен для разработки и использования в рамках

экспертных систем оценки состояния лесных экосистем в урбанизированных условиях для принятия адекватных управляющих решений. Последнее особенно актуально для городских особо охраняемых природных территорий, назначение которых многофункционально: природоохранные функции, поддержание экологического средостабилизирующего баланса в городских условиях, рекреационное использование и экологическое просвещение населения.

В качестве индикаторов использовались индикаторы разработанные Бедновой Ольгой Викторовной из материала «Методика природной ценности».

Индекс состояния древостоя рассчитывается по формуле:

$$I_d = \sum Q_i f_i$$

где  $Q_i$  – доля суммы площадей сечения деревьев  $i$ -той категории состояния в общей сумме площадей поперечного сечения всех стволов всех деревьев древесного полога.

$f_i$  – коэффициенты облиственности деревьев разных категорий состояния.

Оценка состояния деревьев проводится по 6 категориям:

- для деревьев без признаков ослабления -  $f_0 = 1,0$ ,
- для мало ослабленных -  $f_1 = 0,8$ ,
- для ослабленных  $f_2 = 0,6$ ,
- для сильно ослабленных  $f_3 = 0,4$ ,
- для усыхающих  $f_4 = 0,2$ ,
- для сухостойных деревьев  $f = 0$

Показатели состояния лесного фитоценоза характеризуют продукционную составляющую лесной экосистемы, т.е. её экологическую эффективность. С позиций же оценки природоохранной значимости экосистемы важны представления не только об её функциональных возможностях, но и

структурно-композиционные характеристики: видовое разнообразие, сбалансированность связей между видами, наличие местообитаний видов, имеющих природоохранный статус.

Целям отражения видового разнообразия лесного биоценоза через структуру элементов местообитаний (далее обозначаются как элементы структурного разнообразия) наиболее отвечает информационная мера Бриллюэна:

$$H_B = -\frac{1}{M} \ln \frac{m_1! m_2! m_3! \dots m_l!}{M!}$$

$m_i$  – значение  $i$ -го элемента структурного разнообразия (т. е. вида местообитания, например, деревья, пни, временные водоемы и т. п. - подробно см. в табл.) в баллах;

$M$  – суммарная оценка по всем структурным элементам биогеоценоза.

Ключевыми элементами структурного разнообразия являются:

- Число видов сосудистых растений (шт)
- Общее количество деревьев на ПП (шт)
- Число деревьев с диаметром более 10см (шт)
- Число растений подлесочных пород (шт)
- Подрост (шт.экз/м2)
- Доля травянисто-кустарникового яруса
- Глубина лесной подстилки (см)
- Состав лесной подстилки
- Расстояние до водоемов (м)
- Пни на расстоянии (шт. пар)
- Валеж (шт)
- Старовозрастные деревья (шт)

Учитывается так же акустическое загрязнение (дБ) и загрязнение воздуха.

«**URBAN FOREST**» – компьютерная программа для комплексной оценки состояния

лесных биогеоценозов на городских ООПТ, в основе которой лежит метод оптимизации с использованием функций желательности.

Программа написана на объектно-ориентированном языке программирования ActionScript 3.0, является Flash-приложением.

Программа «URBAN FOREST», так как на основе объектно-ориентированного языка программирования, разбита на отдельные классы, содержащие логически сходные функции или объекты. Приложение состоит из тринадцати пользовательских и может работать, как в режиме онлайн, так и локально на компьютере.

Для автоматизации расчетов многокритериальной оценки, разработана программа «URBAN FOREST».

Использован интуитивно понятный интерфейс.

Так как, программа, является мультимедийным приложением, возможен вариант размещения в интернете.

Предусмотрена возможность запуска программы в портативном режиме.

Программа обеспечивает быстроту расчетов и минимизацию погрешностей вычислений.

Возможность размещения результатов в файл с расширением .html с фиксацией параметров расчетов.

*Кузнецов Владимир Алексеевич* д.т.н., Высший колледжа рационального природопользования РХТУ им. Д.И. Менделеева

*Беднова Ольга Викторовна* кафедры экологии и защиты леса, Московского государственного университета леса

*Андрюшин Юрий Юрьевич* студент, Высшего колледжа рационального природопользования РХТУ им. Д.И. Менделеева

### **Литература**

1. Мук, К. (2009). ActionScript 3.0 для Flash. Подробное руководство. California: O'Reilly Media.
2. Джои Лотт, Д. Ш. (2007). ActionScript 3.0. Сборник рецептов. California: O'Reilly Media.
3. Программирование на Adobe® ActionScript® 3.0. (2008). California 95110, USA: Adobe Systems Incorporated.
4. Incorporated, A. S. (2013). Получено из Справочник по ActionScript® 3.0 для платформы Adobe® Flash®: <http://help.adobe.com/>
5. Интегральная Оценка Природоохранной Ценности Лесных Экосистем На Урбанизированных Территориях. (б.д.), (стр. 1-2).
6. Использование Функции Желательности Харрингтона Для Оптимизации Многокритериальной Оценки Состояния Лесных Экосистем В Условиях Урбанизированной Территории. (б.д.), (стр. 2-5).

*YY Andryushin, OV Bednova, VA Kuznetsov*

D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia.

technecalsupport@mail.ru, oliabednova@rambler.ru, vakuz@inbox.ru

**MULTICRITERION EVALUATION OF URBAN FOREST ECOSYSTEM IN RESULTS  
PAS INTEGRATED ENVIRONMENTAL MONITORING ON THE BASIS OF  
DESIRABILITY FUNCTION**

**Keywords:** monitoring, forest ecosystems, protected areas, programming, ActionScript 3.0.