

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ СЦЕНАРИЕВ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

ДУБОВСКИЙ Сергей Викторович

аспирант

ИВАНОВ Сергей Александрович

кандидат технических наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова  
г. Санкт-Петербург, Россия

*В статье рассматривается проблема выбора сценариев лесопользования в условиях неопределённости и слабоструктурированности исходных данных. Показано, что значительная часть факторов имеет качественный характер, что ограничивает применение детерминированных моделей. Предложена концепция автоматизированной поддержки принятия решений на основе системного анализа, лингвистических переменных и методов нечёткой логики, обеспечивающая интеграцию разнородных данных и формирование обоснованных рекомендаций.*

**Ключевые слова:** лесопользование, поддержка принятия решений, неопределённость, нечёткая логика, лингвистические переменные, многокритериальный анализ.

Лесные ресурсы Российской Федерации обладают высокой экономической, экологической и социальной значимостью. Леса выполняют функции сырьевой базы для лесопромышленного комплекса, обеспечивают регулирование климата, сохранение биоразнообразия, предотвращение деградации почв и формируют рекреационное пространство. В условиях изменения климата, роста антропогенной нагрузки и ужесточения природоохранного законодательства особую актуальность приобретает задача обоснованного выбора сценариев использования лесных участков.

В реальной практике принятие решений в лесном хозяйстве осложняется разнородностью исходных данных, наличием количественных и качественных (экспертных) оценок, а также неопределённостью прогнозных показателей - прироста древесины, рыночных цен, климатических и экологических рисков. Подобная ситуация характерна как для стратегического, так и для оперативного уровней управления лесными ресурсами и широко обсуждается в современных исследованиях различных процессов в окружающей среде [2; 3].

В то же время процессы принятия решений в лесном хозяйстве характеризуются слабой информативностью, обусловленной

неполнотой исходных данных, сложностью природных систем и влиянием трудноформализуемых факторов – экологических рисков, социальных последствий, экспертных оценок состояния насаждений. В этой связи актуальной является разработка подходов к автоматизированной поддержке выбора сценариев лесопользования, основанных на интеграции количественных и качественных показателей с использованием методов системного анализа и нечёткой логики, что подтверждается исследованиями в области экологических систем поддержки принятия решений [5].

Целью данной статьи является формирование концепции информационной поддержки выбора сценариев лесопользования в условиях неопределённости исходных данных с использованием методов системного анализа для слабоструктурированных задач и методов нечеткой логики.

Решения в сфере лесопользования принимаются на различных уровнях – от стратегического планирования развития лесных регионов до оперативного управления отдельными лесными участками. При этом учитывается широкий спектр факторов: таксационные характеристики насаждений; транспортная доступность; инфраструктурное обеспечение;

экономическая целесообразность; экологические ограничения; социальные последствия.

Значительная часть этих факторов носит качественный характер. Например, состояние лесных дорог может оцениваться как «удовлетворительное» или «плохое», экологическая ценность участка – как «высокая» или «средняя», социальная значимость – как «положительная» или «нейтральная». Такие оценки трудно напрямую использовать в классических экономико-математических моделях без дополнительной формализации, что подчёркивается в работах, посвящённых гибридным методам поддержки решений в природопользовании [5].

Кроме того, для лесного хозяйства характерны существенные погрешности измерений (при выполнении таксации, дистанционного зондирования) и временная неопределённость: прогнозы роста древесины, изменения состояния насаждений и динамика рыночных цен обладают вероятностным и нечётким характером. Это обуславливает необходимость применения методов обработки слабоструктурированной информации.

Неопределённость в задачах лесопользования проявляется в нескольких формах:

1. Измерительная неопределённость – погрешности таксационных измерений, неточность дистанционных методов наблюдения.
2. Прогностическая неопределённость – неопределённость прогнозов прироста, климатических изменений и рисков.
3. Экспертная неопределённость – различие мнений специалистов при оценке состояния участков.
4. Экономическая неопределённость – колебания цен на древесину, изменение тарифов и стоимости ресурсов.

Классические детерминированные модели плохо приспособлены для учёта подобных факторов. В современных исследованиях подчёркивается целесообразность применения теории нечётких множеств и нечёткой логики для описания размытых границ параметров и интеграции количественных и качественных данных [2].

Одним из эффективных инструментов работы с неопределёнными и экспертными данными являются лингвистические переменные.

В контексте лесопользования они позволяют формализовать оценки, традиционно используемые в практике лесного хозяйства.

Примерами лингвистических переменных могут служить: транспортная доступность участка: *плохая, ограниченная, удовлетворительная, хорошая*; состояние насаждений: *деградированное, ослабленное, удовлетворительное, хорошее*; экологическая устойчивость: *неустойчивая, умеренно устойчивая, устойчивая*; социальная значимость: *отрицательная, нейтральная, положительная*; общая эффективность использования участка: *низкая, средняя, высокая*.

Каждому терму лингвистической переменной ставится в соответствие функция принадлежности, что позволяет корректно учитывать нечёткие границы между состояниями. Подобные подходы широко применяются при оценке экосистемных процессов и лесохозяйственных показателей [4].

Информационная поддержка выбора сценариев лесопользования может быть представлена в виде последовательности этапов:

1. Сбор исходных данных (таксационные характеристики, ГИС-данные, сведения о транспортной доступности, инфраструктуре, экологических ограничениях).
2. Предобработка информации (очистка данных, включающая в себя устранение пропусков, обработка шумов, выбросов и экстремальных значений, нормализация, устранение несогласованности данных).
3. Формирование экспертных оценок (анкетирование специалистов, оценка экологической устойчивости, рекреационной и социальной значимости).
4. Преобразование численных и экспертных данных в лингвистические переменные.
5. Интегральная оценка сценариев (агрегация частных оценок с использованием правил нечёткой логики и многокритериальных методов принятия решений, что соответствует современным подходам в системах принятия решений для экологических систем).
6. Формирование рекомендаций (получение текстово-числовых выводов о предпочтительности сценариев).

Предложенная концепция носит универсальный характер и может быть адаптирована

на под региональные и ведомственные условия, а также интегрирована с геоинформационными системами.

Применение элементов нечёткой логики в задачах лесопользования обладает рядом преимуществ: учёт количественных и качественных показателей; устойчивость моделей к погрешностям исходных данных; гибкая и интерпретируемая форма представления результатов; повышение доверия специалистов к автоматизированным системам поддержки принятия решений.

Использование лингвистических переменных позволяет формировать выводы в привычной для практиков форме («высокая эффективность», «ограниченная доступность», «рекомендуется отсрочка рубки»), что подчёркивается в исследованиях, связанных с системами принятия решений, использующими нечеткую логику [1; 2].

**Заключение.** В данной статье рассмотрены особенности задач выбора сценариев ле-

сопользования в условиях неопределённости исходных данных. Показано, что значительная часть параметров, характеризующих лесные участки, имеет качественный характер, что ограничивает применение классических детерминированных моделей.

Предложена концепция автоматизации поддержки принятия решений, основанная на использовании лингвистических переменных, нечёткой логики и многокритериальных методов. Такой подход обеспечивает интеграцию разнородных данных и формирование обоснованных рекомендаций по выбору сценариев использования лесных участков.

Результаты работы могут быть использованы при разработке интеллектуальных систем поддержки принятия решений в лесном хозяйстве. Перспективным направлением дальнейших исследований является экспериментальная апробация прототипа системы поддержки принятия решений и его интеграция с ГИС и методами дистанционного зондирования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Полещук О.М.* Применение аппарата мягких вычислений для решения задач лесопромышленного комплекса // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2019. – Т. 23, № 5. – С. 126-137. – DOI 10.18698/2542-1468-2019-5-126-137. – EDN UPAQQA.
2. *Biber P., Schwaiger F., Poschenrieder W. et al.* A fuzzy logic-based approach for evaluating forest ecosystem service provision and biodiversity applied to a case study landscape in Southern Germany. Eur J Forest Res 140, 1559-1586 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10342-021-01418-4>.
3. *Ćesić M., Rogulj K., Kilić Pamuković J. & Krtalić A.* (2024). A Systematic Review on Fuzzy Decision Support Systems and Multi-Criteria Analysis in Urban Heat Island Management. *Energies*, 17(9), 2013. <https://doi.org/10.3390/en17092013>.
4. *Sheehan T. & Bachelet D.* (2019). A fuzzy logic decision support model for climate-driven biomass loss risk in western Oregon and Washington. *PloS one*, 14(10), e0222051. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222051>.
5. *Tahri Meryem & Kaspar Jan & Madsen Anders & Modlinger Roman & Zabihi Afratakhti Khodabakhsh & Marušák Róbert & Vacik Harald.* (2021). Comparative study of fuzzy-AHP and BBN for spatially-explicit prediction of bark beetle predisposition. *Environmental Modelling & Software*. 147. 105233. [10.1016/j.envsoft.2021.105233](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105233).

## **AUTOMATION OF DECISION SUPPORT FOR THE SELECTION OF FOREST MANAGEMENT SCENARIOS UNDER UNCERTAINTY**

**DUBOVSKII Sergei Viktorovich**

Postgraduate

**IVANOV Sergei Alexandrovich**

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor

Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

St. Petersburg, Russia

---

*The article addresses the problem of selecting forest management scenarios under conditions of uncertainty and weakly structured input data. It is shown that a significant proportion of the influencing factors are qualitative in nature, which limits the applicability of deterministic models. A concept of automated decision support based on systems analysis, linguistic variables, and fuzzy logic methods is proposed. This approach enables the integration of heterogeneous data and the generation of well-grounded recommendations.*

**Keywords:** forest management, decision support, uncertainty, fuzzy logic, linguistic variables, multi-criteria analysis.

---