

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, КАДАСТРЫ

УДК 528:630

### ОПТИМИЗАЦИЯ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ «ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ»

*д-р с-х. наук, проф. О.А. АТРОЩЕНКО,  
А.А. ПУШКИН, Н.Я. СИДЕЛЬНИК, Н.О. АТРОЩЕНКО  
(Белорусский государственный технологический университет, Минск)*

*Приведены методы и технология оптимизации в геоинформационной системе «Лесные ресурсы». Показано развитие геоинформационных систем в лесном хозяйстве Республики Беларусь.*

В лесном хозяйстве Республики Беларусь геоинформационные системы (ГИС) создаются на трех уровнях:

- 1) геоинформационная система «Лесные ресурсы» на уровне лесохозяйственного предприятия;
- 2) геоинформационная система «Лесоустройство и мониторинг лесов»;
- 3) территориальная ГИС «Лесные ресурсы» области и республики.

Геоинформационная система «Лесные ресурсы» на уровне лесохозяйственного предприятия начала формироваться с 1992 года. К настоящему времени она внедрена во всех лесхозах республики и используется в новой технологии непрерывного лесоустройства, учёте лесного фонда, приёмке колхозных лесов. Геоинформационная система «Лесные ресурсы» имеет многооконный, легко настраиваемый интерфейс пользователя, широкие возможности ввода, контроля, редактирования, фильтрации и запросов к картографической (оцифрованные лесоустроительные планшеты) и повыведельной базам данных, конвертор в Arc View, механизм OLE для MS Office, конвертор из лесоустроительной повыведельной базы данных СУБД-L, возможность создания новых баз данных, объектов и слоёв на картах через механизм Borland Database Engine. Все лесхозы переведены на непрерывное лесоустройство с ежегодным сбором текущих изменений в лесном фонде (рубки леса, пожары, лесовосстановление и др.) и внесением этих изменений в геоинформационную систему.

Система широко используется в практике лесного хозяйства всеми специалистами лесничеств, лесхозов и управлений, поэтому она не имеет системы геодезической привязки картографических данных (иначе ГИС будет секретной и недоступной для широкого использования). Геоинформационная система «Лесные ресурсы» создана на основе лесоустроительных инструкций, справочно-нормативной информации, документов и материалов базового лесоустройства, т.е. может использовать многолетние материалы лесоустройства лесов Беларуси и других регионов бывшего СССР. Геоинформационная система «Лесные ресурсы» на уровне лесхоза не требует мощного компьютера, отличается быстродействием (векторизация лесных карт, привязка повыведельной информации, получение отчётов и др.), простотой в обучении и пользовании. Она создана с перспективой развития и использования в удалённой сети клиент - сервер, конвертацией в другие ГИС, внедрения новых ГИС-технологий [1].

Геоинформационная система на уровне лесохозяйственного предприятия предназначена для ведения непрерывного лесоустройства, внесения текущих изменений в лесном фонде, учёта и актуализации лесного фонда, получения любых отчётов по базам данных, разработки ежегодных рабочих планов рубок леса, лесовосстановления, охраны и защиты лесов, печати планово-картографических материалов (планов обходов лесников, мастерских участков, лесонасаждений лесничеств, лесхозов и др.), планирования и подготовки лесосечного фонда, мониторинга лесов, сохранения их биоразнообразия (биотопы, охраняемые территории, защитные леса), ведения лесного кадастра, решения задач сертификации лесов, учёта и оценки качества выполненных лесохозяйственных мероприятий, государственного контроля за состоянием, использованием, воспроизводством, охраной и защитой лесов.

Геоинформационная система второго уровня (ГИС «Лесоустройство и мониторинг лесов») является секретной, имеет трёхмерные пространственные изображения лесов с точной геодезической привязкой местности в плановом (горизонтальном) и высотном (рельеф) положении. Создаётся на основе материалов аэрофотосъёмки лесов, дистанционного зондирования лесов и космической съёмки, землеустройства и лесоустройства, материалов мониторинга лесов.

Геоинформационная система включает автоматизированную систему стереоизмерений, контурного и лесного дешифрирования аэрофотоснимков и получения фотоабрисов кварталов, систему обработки космических снимков, подготовки тематических лесных карт, систему векторизации абрисов кварталов, космических снимков, топографических карт, геодезической привязки планово-картографической информации, внесения текущих изменений и актуализаций данных, ведения баз данных.

Геоинформационная система содержит также базы данных по аэрокосмическому мониторингу лесов, спектральных измерений различных категорий лесных площадей, их эталонов (стационаров) в лесу и

на космических снимках. Включает геодезические данные для любой лесной площади в ГИС «Лесные ресурсы» на уровне лесохозяйственного предприятия, области и республики, используется при конвертации в другие геоинформационные системы (ГИС «Природопользование», ГИС республики и др.).

Геоинформационная система «Лесоустройство и мониторинг лесов» создается на базе AROTNFO и предназначена для геодезического сопровождения ГИС-технологий в лесном хозяйстве, в том числе с использованием мобильных средств сбора информации и GPS-приемников; автоматизации лесного картографирования и создания точных лесоустроительных планово-картографических материалов; получения тематических лесных карт по материалам дистанционного зондирования лесов, ведения лесного мониторинга.

Территориальная ГИС «Лесные ресурсы» области и республики (третий уровень) создается на базе ГИС «Лесные ресурсы» лесохозяйственных предприятий с геодезическим сопровождением из ГИС «Лесоустройство и мониторинг лесов».

Основой ГИС являются векторные топографические карты с границами всех земель и других объектов: административных границ, лесных земель, сельскохозяйственных земель, крупные и средние населенные пункты, дороги, водоёмы и реки, природные комплексы, географические ландшафты, экологические карты, границы лесхозов, лесничеств и кварталов.

Эта геоинформационная система имеет многоуровневую архитектуру картографических и атрибутивных баз данных, т.е. выбор лесхоза и лесничества позволит получить повыведельную информацию по кварталам. Основное назначение ГИС «Лесные ресурсы» области - стратегическое (перспективное) планирование ведения лесного хозяйства, ландшафтно-экологический подход к управлению лесами и лесными ресурсами, мониторинг лесов и охрана окружающей среды, получения агрегированной информации по лесам и лесным ресурсам.

С развитием компьютерного оборудования и программного обеспечения геоинформационные системы на трёх уровнях будут развиваться, т.е. ГИС «Лесные ресурсы» лесохозяйственного предприятия будет приближаться по своим объектам и функциям к ГИС области, к ряду функций ГИС «Лесоустройство и мониторинг лесов», в том числе к геодезической привязке объектов с использованием материалов дистанционного зондирования лесов и GPS-приемников. ГИС «Лесные ресурсы» области будет включать новые функции, слои и объекты, например, почвенные карты, экологические карты, карты геологического строения Земли и другие. Это - непрерывный процесс развития информационных систем и компьютерных технологий.

Разработка системы оптимизации главного пользования лесом производилась на основе современных геоинформационных технологий, что позволяет производить оптимизацию во времени (на ревизионный период) и пространстве (на территорию лесхоза).

Отличительной особенностью геоинформационных систем являются большие базы данных, что обусловлено значительными объемами информации, характеризующей лесные насаждения.

В своей структуре ГИС органично сочетают два типа данных: пространственные - информация по географическому размещению объектов ведения лесного хозяйства; тематические или атрибутивные - числовая и символьная информация, характеризующая объекты ведения лесного хозяйства. В соответствии с данным подходом в ГИС организуется картографическая база данных, включающая пространственную информацию, и атрибутивная (повыведельная) база данных, содержащая информацию, характеризующую лесные насаждения. Связь между картографической и повыведельной базами данных в системе оптимизации главного пользования осуществляется через атрибутивную таблицу картографического слоя «выдела», где указаны номер выдела, название лесничества и номер квартала к которому данный выдел относится. Данные поля являются ключевыми при добавлении атрибутивной информации к картографическому слою «выдела».

С учетом значительных объемов информации, хранящихся в базах данных геоинформационных систем лесного хозяйства целесообразно применение так называемой гибридной модели организации данных ГИС. Для реализации предлагаемого подхода файлы пространственных данных, координат и таблицы атрибутов картографических слоев, содержащие описательные данные для каждого графического объекта, хранятся как отдельный набор файлов в структуре самого ГИС-пакета. Таблицы базы данных, содержащей непосредственно сами показатели, хранятся под управлением внешней системы управления базами данных (СУБД) и при необходимости могут быть оперативно добавлены к атрибутивным таблицам картографических слоев, т.е. реализуется возможность их визуализации и анализа непосредственно в геоинформационных системах.

Применение представленной модели организации данных представляется наиболее оптимальным, поскольку структура программного комплекса ГИС наиболее эффективна по отношению к графическим объектам, но им недостает той же эффективности в управлении атрибутивными данными. И наоборот, СУБД общепризнанны как средства управления атрибутивными типами данных, но не приспособлены к работе с графическими объектами. Поэтому программное объединение этих двух технологий позволяет взять лучшее из каждой.

С учетом вышеизложенного в качестве основных программных компонентов системы оптимизации главного пользования лесом выступают ГИС «Лесные ресурсы», Arc View GIS 3.2 и СУБД ORACLE с

дополнительно разработанными программными модулями, а также программное обеспечение повыведельной актуализации, обеспечивающие прогноз роста древостоев и их товарной структуры.

Особенностью определения размера главного пользования лесом на основе геоинформационных технологий является формирование массивов исходных данных. Анализ пространственной составляющей при проведении оптимизации главного пользования лесом необходим при формировании экологического каркаса территории, определении транспортной доступности участков эксплуатационного фонда, нарезке лесосек и т.д.

В основе проведения анализа и формирования исходных данных лежат технологии геоинформационного моделирования, представляющего собой класс моделирования графических объектов, взаимосвязанных с базами данных, и включает пять видов моделирования:

- 1) преобразование пространственной информации, которое приводит к изменению графических и атрибутивных данных;
- 2) преобразование атрибутивных данных, что приводит к изменению графических данных;
- 3) преобразование графических объектов из одного типа в другой;
- 4) построение цифровых моделей явлений;
- 5) построение, редактирование или модификация графических объектов на основе отношений между пространственными объектами.

Геоинформационное моделирование включает следующие специальные технологии: геогруппировку - построение временной динамической модели путем объединения совокупностей графических объектов в более крупные объекты; буферизацию - процедуру построения полигональных объектов по заданным линейным (и точечным) объектам и параметрам буферизации; генерализацию - процедуру обобщения графических объектов и изменения их видимости при изменении масштаба; комбинирование - процедуры композиции или декомпозиции графических объектов на основе отношений между ними; геокодирование - процедуру позиционирования (координатной привязки) данных одной таблицы к данным другой, позиционно определенной таблицы; обобщение данных - процедуру создания атрибутов новых объектов на основе отношений атрибутов исходных объектов; построение тематических карт на основе анализа и обработки атрибутивных данных; проведение автоматической классификации признаков графических объектов (включая растровые) по заданным критериям.

Указанные виды и технологии геоинформационного моделирования представляют значительный теоретический и практический интерес для моделирования и оптимизации различных вариантов ведения лесного хозяйства. Информационное обеспечение системы оптимизации главного пользования предусматривает комплексное использование двух баз данных атрибутивной и картографической, которые интегрируются на основе ГИС (рисунк).



Схема информационного обеспечения системы оптимизации главного пользования лесом

Атрибутивная база данных включает повыведельную базу данных, формируемую при базовом лесоустройстве, а также экологически-ориентированные базы данных оценки биологического разнообразия, которые могут создаваться, как при проведении лесоустроительных работ, так и на основе отдельных полевых исследований. Указанные массивы данных являются исходными для организации базы данных оптимизации главного пользования, которая включает данные распределения повыведельной информации по выделенным хозяйственным частям и формируемые на этой основе распределения насаждений по группам возрастов.

Для создания картографических баз данных геоинформационных систем разработана автоматизированная система лесного картографирования на базе ГИС «Лесные ресурсы» и Arc View GIS 3.2 с дополнительными программными модулями, которая используется для создания, организации и актуализации картографической базы данных системы оптимизации главного пользования лесом.

Основу картографической базы данных составляют цифровые лесоустроительные планшеты, объединенные в единую карту лесхоза и лесничеств с использованием картосхемы, а также топографические карты.

Цифровые карты лесхоза и лесничеств содержат следующий минимальный перечень картографических слоев: таксационные выдела, границы кварталов, грунтовые дороги, асфальтированные дороги, ручьи, каналы, канавы, промышленные объекты, реки, озера, подписи выделов, кварталов, населенных пунктов и общегеографические подписи, административные границы, границы лесхоза, границы лесничеств, населенные пункты, конторы лесничеств и лесхоза.

Основой для корректной и достоверной визуализации цифровых карт является использование координатной привязки и картографических проекций в ГИС. Для территории СНГ и Республики Беларусь топографические карты составлены по шестиградусным зонам в проекции Гаусса - Крюгера. В связи с этим все геодезические данные системы оптимизации главного пользования лесом представляются в данной проекции в системе координат 1942-го года. Для выполнения координатной привязки используется программное обеспечение автоматизированной системы лесного картографирования, где привязка выполняется по множеству достоверных точек, каждая из которых имеет свой идентификатор и координаты.

Добавление повыведельной информации к цифровым картам - необходимый этап для перехода от цифровых карт как набора картографических объектов к их смысловому наполнению и окончательному формированию, таким образом, цифровой модели. Подключение внешней базы повыведельных данных в системе оптимизации главного пользования предусматривает установление картографическим объектам соответствующих значений в базе данных согласно их ключевым полям. Таблицы базы данных оценки биологического разнообразия включаются в систему оптимизации главного пользования путем прямого импорта.

В комплексе пространственные геоданные с подключенными к ним атрибутивными данными формируют единую первичную цифровую модель, на основе которой при помощи технологий геоинформационного моделирования получают вторичные: карта эксплуатационного фонда, оценки биологического разнообразия, видов рубок и др. Сформированные тематические карты могут быть выведены на печать или экспортированы в ГИС «Лесные ресурсы» для последующего использования в практике ведения лесного хозяйства.

Основу лесоустроительного проектирования составляет рациональное проектирование размеров лесопользования и лесовосстановления. В большинство существующих методов расчета размера лесопользования положен принцип непрерывного пользования лесом, вытекающий из теории нормального леса: наивысший средний прирост насаждений; равномерное распределение насаждений по классам возраста в пределах оборота рубки; оптимальное распределение насаждений по территории; обеспечение постоянного лесного дохода и рентабельности капиталовложений в лесное хозяйство.

Согласно теории о непрерывности и неистощенности пользования лесом, оптимальная расчетная лесосека должна не превышать величину годичного прироста древостоя. Размер лесосеки в первую очередь обуславливается наличием леса (его площадь и запас), но также существенное влияние оказывает интенсивность роста леса.

Задача оптимизации главного лесопользования может быть решена путем оценки максимального размера лесопользования при данных условиях и ограничениях. Целевая функция - максимум размера лесопользования. Оптимальное решение соответствует модели линейного программирования. Модель регулирования лесов (целевые леса) при многоцелевой функции ведения лесного хозяйства (выращивание древесины, других продуктов леса, защитные и социальные функции и т. д.) может быть сложной, и решить задачу оптимизации многоцелевого лесопользования весьма проблематично. Применение методов математического программирования дало возможность оценивать несколько переменных в модели оптимизации. В обычной модели линейного программирования в целевой функции при оптимизации берется одна переменная (максимум лесопользования, минимум затрат и т. д.), а другие переменные представляют ограничение ее в целевой функции. Такая структура модели оптимизации является эффективной, если

переменная целевой функции и переменные ограничений не взаимозаменяемы, т.е. ограничения накладываются окружающей средой (цены, площади и т.д.). Если ограничения составляют часть целевой функции, т.е. они взаимозаменяемы, то оптимальное решение в модели получить практически невозможно [2].

Одним из способов решения проблемы оптимизации многоцелевого использования лесных ресурсов является обобщение всех целей в одну функцию полезности. Конечная цель лесопользования - максимизация полезности (практической выгоды) от вложения капитала в лесохозяйственное производство.

В Институте экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси разработана методика сохранения биоразнообразия при ведении лесного хозяйства, базирующаяся на концепции экологического каркаса лесных территорий. Согласно данной методике на основе балльной оценки биотопического и биологического разнообразия таксационных выделов предлагается выделить следующие категории участков:

- 1) ключевые биотопы (КБ);
- 2) потенциально ключевые биотопы (ПКБ);
- 3) экологические коридоры (ЭК);
- 4) участки, предназначенные для ведения лесного хозяйства, ориентированного на сохранение биологического разнообразия (БОЛХ);

- 5) участки с элементами ведения лесного хозяйства, ориентированного на сохранение биологического разнообразия (ЭБОЛХ);

- 6) участки, предназначенные для ведения лесного хозяйства, ориентированного на продуктивное лесовыращивание (ПЛ). Первые четыре категории формируют собственный экологический каркас лесной территории, и им придается статус особо защитных участков с ограниченным режимом лесопользования [3,4].

В категориях «Ключевые биотопы», «Потенциально-ключевые биотопы» запрещается ведение всякой хозяйственной деятельности за исключением мероприятий по охране и защите леса. Данная категория полностью исключается из расчета главного пользования. На участках категории «БОЛХ» и «Экологические коридоры» запрещается проведение сплошнолесосечных рубок, а проводятся постепенные и выборочные. При проектировании рубок главного пользования в выделах, отнесенных к категории «ЭБОЛХ», предпочтение отдается узколесосечным сплошным рубкам. В категории «ПЛ» проектирование лесохозяйственных работ осуществляется в соответствии с действующими нормативными документами без учета факторов биологического разнообразия.

Данный подход должен повлечь некоторое уменьшение размера главного пользования лесом, однако при этом повышается устойчивость лесных экосистем, усиливаются средообразующие и защитные свойства лесов, повышается их генетико-биологическое разнообразие. Кроме этого, система лесовыращивания и получаемая на ее основе продукция будет способна пройти так называемую «зеленую сертификацию», что увеличит ее конкурентоспособность на мировом рынке и значительно повысит экономическую эффективность ведения лесного хозяйства.

Оптимизация главного пользования лесом с учетом факторов сохранения биологического разнообразия предусматривает расширенное использование геоинформационных технологий на этапах формирования экологического каркаса территорий и хозяйственных частей расчета. В соответствии с разработанной методикой созданы соответствующие атрибутивные и картографические базы данных в ГИС «Лесные ресурсы» и ArcView GIS 3.2 [5].

При оптимизации лесопользования в пространстве (по территории лесхоза) и во времени (на долгосрочный период) ГИС «Лесные ресурсы» весьма эффективны.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атрощенко О.А., Кулагин А.П., Дубовик И.Д. ГИС-технологии в непрерывном лесоустройстве // Лесное хозяйство: Сб. трудов БГТУ, 1999. - Вып. 7. - С. 61 - 64.
2. Атрощенко О.А. Моделирование роста леса и лесохозяйственных процессов. - Мн.: БГТУ, 2004. - 251 с.
3. Выделение ключевых биотопов и других элементов экологического каркаса на землях лесного фонда при лесоустроительных работах: Методическая инструкция. - Мн., 2000. - 20 с.
4. Проектирование лесохозяйственных мероприятий, направленных на сохранение биоразнообразия в практике лесного хозяйства: Методические рекомендации. - Мн., 2000. - 36 с.
5. Пушкин А.А. Методика оптимизации главного пользования в сосновых лесах на базе ГИС-технологий // Лес-2004: Междунар. науч.-техн. конф. - Брянск, 2004.