

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРОСТА ПО ЗАПАСУ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ «ЛЕСНЫЕ РЕСУРСЫ»

The restriction of the forest harvesting, the estimation of efficiency of regulation of the species and the age structure of forests, the estimation of the completed measures and other influences, are indissolubly connected with an estimation of the increment. The geoinformation systems allow to give most operatively data on quantity of the current and average volume increment. As a result of the regression analysis was received the mathematical model. Its model is destined for using in the geoinformation system «Forest resources» for assessing of the pine stands volume increment. This model is depending on the pine stand volume and age. In the result of work «The description of elements of a forest» standard form of viewing attributive databases GIS «Forest resources» will appear parameters of the volume increment.

Введение. Рост дерева или древостоя происходит в результате различных физиологических процессов: фотосинтеза, дыхания, водообмена и обмена питательных веществ. Отыскание количественной стороны этих процессов, аккумулированных в виде прироста различных таксационных показателей, входит в задачу определения текущего прироста.

В условиях ведения интенсивного лесного хозяйства для повышения результативности управления лесными ресурсами и лесохозяйственной деятельностью целесообразно непрерывно пользоваться разносторонней информацией о лесном фонде.

Нормирование размера лесопользования, оценка эффективности регулирования породной и возрастной структуры лесов, оценка проведенных мероприятий и других воздействий неразрывно связаны с оценкой текущего прироста, поэтому возникает необходимость постоянного получения данных о приросте. В этом плане геоинформационные системы могут наиболее оперативно предоставить сведения о величине текущего и (или) среднего прироста.

Наиболее приемлемы для расчетов на ЭВМ математические модели в виде формул. Выявление закономерных связей текущего прироста с другими таксационными показателями и выражение их в виде уравнений необходимы для познания и обобщения свойств текущего прироста, а также для облегчения расчетных работ.

В современных условиях разрабатываемые модели связей различных таксационных показателей могут быть использованы в геоинформационных системах лесного хозяйства и лесоустройства.

Регрессионные уравнения для актуализации диаметра, высоты, запаса древостоев основных пород уже разработаны профессором О. А. Атрошенко на основании белорусских таблиц хода роста и внедрены в производство, тогда как проблема непрерывного получения

данных о полном текущем приросте еще ждет своего решения [1].

Основная часть. Моделирование прироста леса в значительной степени зависит от наличия достаточно надежной и полной лесоводственной информации. Сбор этой информации – весьма трудоемкий процесс. В противоположность распространенному мнению огромный банк долговременных наблюдений на постоянных пробных площадях не является обязательным. Относительно малое число проб, особенно полезных для создания системы принятия решения, в сочетании с временными выборочными пробами (выборочная лесоинвентаризация) могут обеспечить данными для разработки приемлемых функций роста насаждений, снизить субъективизм в математическом моделировании и увеличить достоверность результатов при статистическом анализе.

Главным их преимуществом, недостижимым при прочих методах сбора первичных данных, является высочайшая репрезентативность и строгая объективность из-за статистического отбора единиц из генеральной совокупности. Основными ограничивающими факторами при отборе материалов для целей моделирования взаимосвязей между таксационными показателями и построением лесотаксационных таблиц были: класс бонитета – I^A, I, II, III; полнота – не менее 0,5.

Поэтому с целью увеличения достоверности о динамике роста и прироста древостоев были использованы для анализа данные выборочной лесоинвентаризации Гродненской области, которые включают большое количество экспериментального материала. Для проверки точности и надежности системы моделирования хода роста древостоев выполнялось моделирование хода роста древостоев на постоянных пробных площадях и сравнение таксационных показателей, полученных в результате моделирования, с показателями, полученными в результате таксации.

Обработка опытных данных, построение графиков связи и оценка коэффициентов регрессион-

ных уравнений связи таксационных показателей древостоев способом наименьших квадратов и статистические расчеты и оценка регрессионных уравнений связи производились на основе пакета программ Statistica. В качестве модели отбирались уравнения, имеющие лучшие параметры по *t*-критерию Стьюдента, *F*-критерию Фишера, коэффициентам корреляции и детерминации, стандартной ошибке оценки зависимой переменной. При выборе регрессионных моделей приняты следующие требования:

- модель должна объяснять не менее 80% ($R^2 > 0,80$) вариации зависимой переменной;

- вычисленные значения *t*-критерия Стьюдента и критерия Фишера, характеризующего адекватность модели, должны превышать табличные значения на 5% уровне значимости;

- ошибка регрессии не должна превышать 10%;

- важное место уделялось простоте модели, т. е. подбирались модели, имеющие минимальное количество зависимых переменных (которые присутствуют в базе данных ГИС «Лесные ресурсы»).

Тщательный анализ экспериментальных данных всегда требует обоснованный выбор критериев их гомогенности. В отношении последних следует выделить два подхода: а) по типам леса (экологический); б) по классам бонитета (таксационный).

Основная масса таблиц хода роста составляется по классам бонитета [2], что имеет свои преимущества (преобладают количественные признаки), но в тоже время учитывается продуктивность древостоя, что позволяет унифицировать лесотаксационные нормативы и широко применять статистические методы при обработке данных. Стоит добавить еще, что количество типов леса больше, чем классов бонитета, и поэтому учесть все типы леса не так просто.

Но чисто таксационный подход (учет сырьевых функций лесов) не учитывает полезностей леса, его экологического значения. Кроме того, класс бонитета, определяемый средней высотой и возрастом древостоя как показатель производительности насаждений, не всегда постоянен в течение жизни древостоя [2]. С возрастом может происходить снижение класса бонитета, особенно в насаждениях, пройденных интенсивными рубками ухода. Это обстоятельство полностью исключается при использовании для бонитирования насаждений верхней высоты, т. е. высоты определенной доли наиболее крупных (доминантных) деревьев на единице площади. Верхняя высота, согласно исследованиям [2], наименее подвержена изменениям в возрастной динамике.

Связь текущего прироста с другими таксационными показателями изучалась многими исследователями: И. М. Науменко, Ф. П. Мо-

исеенко, А. С. Бабакиным, М. Л. Дворецким, П. В. Воропановым, П. М. Верхуновым, П. Яком, О. А. Труллем, В. С. Мирошниковым, В. Е. Ермаковым, Н. Н. Сваловым, О. А. Атрощенко, В. Ф. Багинским и др. Обширная работа по выявлению закономерных связей текущего прироста с другими таксационными показателями проведена В. В. Антанайтисом и В. В. Загреевым [3].

Применение ЭВМ в лесной науке вывело моделирование роста на новый этап – активное применение множественного регрессионного анализа. Для анализа и математического описания внутренней структуры отношений между компонентами биогеоценоза и его количественными признаками чаще применяют различные по структуре регрессионные модели: простые (одна объясняющая переменная) и множественные (объясняющих переменных две и более).

Как правило, в своих работах по моделированию прироста древостоев исследователи апробируют не одну модель, а сразу несколько функций, из которых затем выбирается лучшая. Прирост – это, по сути, производная от функций роста, детальный анализ которых привел А. К. Кивисте [4].

М. Продан [5] установил, что процент текущего прироста по запасу – функция среднего диаметра и среднего радиального прироста. По исследованиям В. В. Антанайтиса и В. В. Загреева можно обобщить следующие связи текущего прироста с другими таксационными показателями [3]. Наибольший интерес как с теоретической, так и с практической точек зрения представляют наиболее четкие модели связи на основе определения процента текущего прироста, который меньше подвержен варьированию, чем абсолютный прирост. Последние четыре модели наиболее достоверны для определения текущего прироста как для отдельных древостоев, так и их совокупностей.

Помимо таксационных признаков нужно учитывать конкретные связи между древесным приростом и факторами окружающей среды (климат, почвенно-типологические условия), принимая во внимание особенности физиологических процессов. Выбор переменных ограничен их наличием в атрибутивной базе ГИС «Лесные ресурсы». Безусловно, одной из переменных должен являться возраст, т. к. он разграничивает процесс роста на временные интервалы. Остальными переменными становятся показатели роста в пространстве: диаметр, высота и объем. Важный показатель – сумма площадей сечения – ограничен в использовании, т. к. в ГИС ForMap вычисляется только для спелых насаждений. Введение в расчеты промежуточного показателя (того же радиального прироста), которого нет в атрибутивной базе данных, ведет к неизбежному увеличению систематической ошибки.

Финский ученый К. Куусела [6] представил процент текущего прироста по запасу как функцию запаса и возраста $P_M = f(M, A)$. Регрессионные уравнения для вычисления процента текущего изменения запаса разработаны профессором О. А. Атрощенко. Исследования литовских ученых подтвердили данную закономерность, однако ими же было указано, что практическое значение данной связи невелико, так как не учитывается радиальный прирост, который значительно повышает точность модели (коэффициент корреляции достигает 0,99) [7].

На основе аналитического обзора литературных источников для расчетов величины текущего прироста был оценен ряд сложных регрессионных уравнений с несколькими переменными ($R^2 = 0,71-0,96$).

Для расчета показателей прироста по запасу сосновых древостоев в результате множественного регрессионного анализа получена математическая модель следующего вида (за основу была взята модель О. А. Атрощенко):

$$P_M = 10^{a_0} \times M^{(a_1 + a_2 \times \lg(A))}, \quad (1)$$

где P_M – показатель прироста, % (м³/га); M – запас древостоя, м³/га; A – возраст древостоя, лет.

Данное уравнение предназначается для оценки величины относительного текущего прироста в разрезе одной древесной породы и может быть использовано для оценки текущего прироста (I^A–III классы бонитета чистых сосновых насаждений). Также можно добавить, что данная регрессионная модель может быть использована как для вычисления процента среднего прироста, так и для получения абсолютных значений среднего и текущего приростов ($S = 0,03-0,09$; $F = 3802,54-29692,05$; $R^2 = 0,90-0,98$).

Для добавления показателей прироста в стандартную атрибутивную базу данных ГИС «Лесные ресурсы» (рис. 1) необходимо использовать СУБД (например, MS Access) или воспользоваться специализированными утилитами для работы с таблицами баз данных в формате paradox (например, DataBase Desktop, DataBase Workshop и т. д.).

Повыдельная база данных ГИС «Лесные ресурсы» состоит из нескольких файлов:

1) <GIS>\Bases\название_лесничества\название_лесничества.db – хранит значения большинства показателей, характеризующих таксационный выдел (макеты «основные показатели», «подрост», и т. д.). Векторные объекты на карте (таксационные выдела) привязываются к записям данной таблицы базы данных через три ключевых поля: лесничество, квартал и выдел;

2) <GIS>\Bases\название_лесничества\название_лесничестваСОСТ.db – включает помимо перечисленных выше трех ключевых полей поле с номером элемента леса для конкретного таксационного выдела. Хранит данные показателей из макетов «Описание элементов леса»;

3) <GIS>\Bases\название_лесничества\Sprav\sprfield.db – содержит названия всех показателей, имена, под которыми они будут отображаться в системе, а также ключевое поле, дающее ссылку на кодую таблицу значений для каждого из показателей;

г) <GIS>\Bases\название_лесничества\Sprav\sprtab.db – содержит кодую таблицу значений, которые могут принимать показатели, дающие качественную оценку выдела (тип леса, категория защитности и т. д.). Данный файл необходим для расшифровки основной базы данных, представляющей собой лишь условные коды значений подобных показателей.

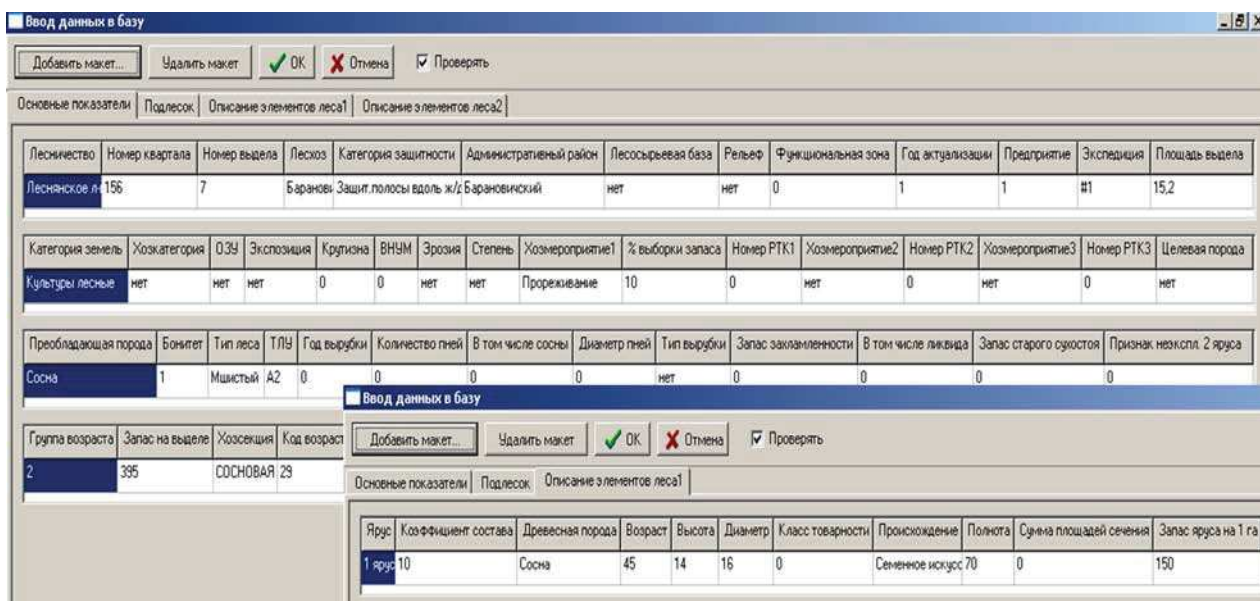


Рис. 1. Стандартная форма просмотра повыдельной базы данных ГИС «Лесные ресурсы»

Структура файлов, составляющих базу данных ГИС «Лесные ресурсы», а также изменения, которые необходимо внести для дальнейшей работы, следующая:

- **Spfield.db.** В данном файле создается запись о каждом из вновь создаваемых показателей. Таблица данного файла содержит следующие поля:

- *fieldname* – указывается уникальное имя для каждого показателя латинскими буквами. Имя может содержать ссылку на макет, в котором данный показатель должен отображаться. Для этого оно должно включать префикс «_##M», где «##» обозначает номер макета, и собственно название показателя. Макет должен быть отдельно определен в данной таблице записью «_##M##» с указанием названия, под которым он будет отображаться в системе;

- *text* – содержит названия, под которыми показатели базы данных будут представлены в ГИС «Лесные ресурсы» при просмотре повыведельной информации, составлении фильтров и т. д.;

- *ShortText* – краткое название показателя;
- *EdIzm* – единицы измерения, присваиваемые некоторым количественным показателям для правильного их восприятия;

- *SpNum* – ключевое поле, по которому данный файл будет связываться с файлом sptab.db, в котором содержатся таблицы значений для каждого показателя. Ключевые поля для каждого из показателей в обоих файлах должны совпадать, что обеспечивает связь между файлами базы данных;

- **Лесничество.db.** В этом файле находится непосредственно база данных, где хранятся большинство показателей.

В рамках данной технологии работ необходимо добавить следующие четыре показателя в повыведельную базу данных (таблица).

Новые показатели необходимо добавить также в файл «Название лесничества.db». В поле «Fieldname» записывается четыре новых показателя. Всем показателям присваивается тип «Short» в поле «Type», что обеспечивает возможность принятия данными показателями целочисленных значений ±32 768.

Таблица

Описание новых показателей базы данных

Field Name	Text	EdIzm	SpNum	Short Text
ZT	Текущий прирост	м ³	0	Тек_прир
ZC	Средний прирост	м ³	0	Ср_прир
PMT	Относительный текущий прирост	%	0	Проц_тек
PMC	Относительный средний прирост	%	0	Проц_ср

Преобразование атрибутивной базы данных в формат Paradox выполняется средствами программы MS Access. Измененная повыведельная база данных представлена на рис. 2. Для правильной работы фильтров и тематических карт в ГИС «Лесные ресурсы» необходимо наличие также второго файла базы данных. В стандартных проектах ГИС «Лесные ресурсы» в этом файле хранятся показатели, описывающие отдельные элементы леса таксационных выделов.

Для приведения атрибутивной базы данных в соответствие с требованиями ГИС «Лесные ресурсы» необходимо изменить ее структуру. При этом удаляется часть показателей, не несущих информационной нагрузки, большинство других показателей переименовываются в соответствии со справочниками базы данных ГИС.

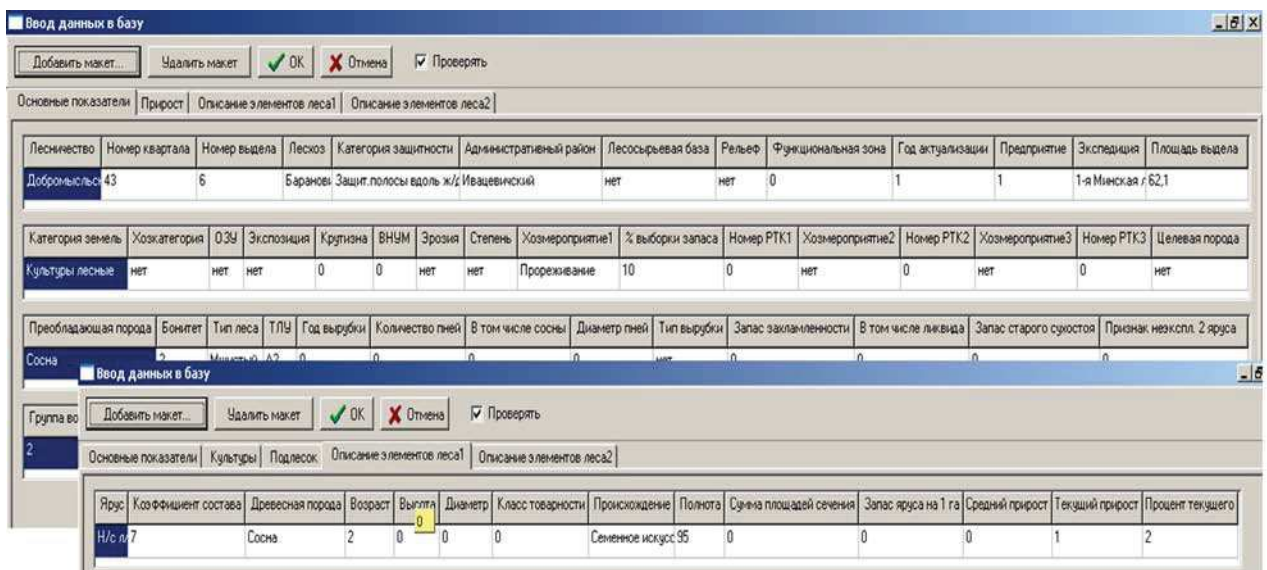


Рис. 2. Показатели прироста в стандартной форме просмотра базы данных ГИС «Лесные ресурсы»

Для обеспечения целостности картографической и атрибутивной баз данных перед импортом информации в ГИС «Лесные ресурсы» создаются ключевые поля. Структура базы данных ГИС «Лесные ресурсы» предполагает связь картографической и повыведельной баз данных по 3 ключевым полям: номеру лесничества, номеру квартала и номеру выдела.

Заключение. При условии правильного выполнения перечисленных операций в макете «Описание элементов леса» стандартной формы просмотра повыведельной базы данных ГИС «Лесные ресурсы» должны появиться вновь созданные показатели прироста (рис. 2).

В связи с тем, что лесное хозяйство Беларуси направленно на переход к интенсивному, непрерывному, комплексному и неистощительному лесопользованию, особенно остро встает вопрос о методах определения прироста максимально точного с минимальными затратами.

В зарубежной практике существует мнение, что величина прироста древостоев всего хозяйства малоприемлема для расчетов лесопользования. Однако показатели прироста являются полезными для анализа размера лесопользования, давая возможность установить возможные изменения величины древесных запасов. Более конкретное применение показатели текущего прироста находят при выборочном хозяйстве [8].

Следует отметить, что информация о приросте востребована при высокой интенсивности ведения лесного хозяйства, где прирост является ключевым параметром и основой для определения размера лесопользования, в частности при участковом методе лесоустройства, который планируется поэтапно внедрять в лесхозах нашей страны в соответствии со Стратегическим планом развития лесного хозяйства Беларуси.

Информация о величине прироста востребована и при проведении сертификации лесхозов. Один из критериев для рекомендации о присуждении сертификата – наличие информации о приросте в плане лесохозяйственной деятельности.

При использовании модели прежде всего следует учитывать нормативное значение систематической погрешности вычислений, которая не должна быть более $\pm 5\%$ [9].

Допустимую величину среднеквадратической ошибки уравнения следует оценивать в

зависимости от цели дальнейшего применения показателей прироста. Если требуется информация о приросте совокупности древостоев для нормирования лесопользования, то можно использовать модель и со значительной случайной погрешностью на основании общеизвестной закономерности, что среднеквадратическая ошибка уменьшается обратно пропорционально квадратному корню из числа измерений. ГИС предоставляет в этом отношении уникальную возможность, позволяя мгновенно выполнить расчет по всем участкам, представленным в базе данных, и таким путем достичь приемлемой точности результата.

При этом влияние на конечный результат будет оказывать и фактическая точность данных таксации, основным методом которой сейчас является глазомерный с характерными для него значительными среднеквадратической и систематической ошибками.

Литература

1. Сидельник, Н. Я. Методы оценки текущего прироста древостоев и их использование в ГИС-технологиях / Н. Я. Сидельник // Труды БГТУ. Сер. I, Лесн. хоз-во. – 2003. – Вып. XI. – С. 112–115.
2. Свалов, Н. Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования / Н. Н. Свалов. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 215 с.
3. Антанайтис, В. В. Прирост леса / В. В. Антанайтис, В. В. Загребев. – Лесная промышленность, 1981. – 200 с.
4. Кивисте, А. К. Функции роста леса / А. К. Кивисте. – Тарту, 1988. – Ч. 1. – 108 с.
5. Prodan, M. Forstliche Biometrie. – Munchen-Bonn. Wien, BZV Verlagsgesellschaft, 1961. – 432 p.
6. Kuusela, K. A basal area mean tree method in forest inventory / Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61.2. – Helsinki, 1966. – 32 p.
7. Антанайтис, В. В. Опыт инвентаризации лесов Литвы математико-статистическим методом / В. В. Антанайтис, И. Н. Репшис. – М.: Лесная промышленность, 1973. – 104 с.
8. Антанайтис, В. В. Современное направление лесоустройства / В. В. Антанайтис. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 280 с.
9. Нормативы точности и методы таксации древостоев / В. В. Антанайтис [и др.]. – Каунас: ЛитСХА, 1985. – 76 с.