

заметен при нанесении на карроподновку, не вызывает ухудшения состояния заподсо-  
ченных древостоев и нарушения процессов переработки живицы, не опасен для челове-  
ка, теплокровных животных и окружающей среды.

В конце октября 2001 года Министерство лесного хозяйства РБ разрешило при-  
менение мальтамина-лх в качестве стимулятора выхода живицы в 1%-ной concentra-  
ции при проведении подсочки сосновых древостоев на территории государственного  
лесного фонда. Следует подчеркнуть, что мальтамин-лх является аналогом регулятора  
роста растений "Мальтамин-ж" (жидкий), зарегистрированного в Каталоге пестицидов,  
разрешенных для применения в Республике Беларусь на 2000-2010 годы.

УДК 630\*5:630\*567

С. И. Минкевич, аспирант

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ

The researches were carried out on the basis of sample forest inventory materials.  
Mathematical models of relations of trees indices taxation in the stand are presented in  
this article in the form of mathematical regression equations.

Математические модели связи таксационных показателей деревьев в древостое  
позволяют решить ряд вопросов, связанных с задачами прогноза роста и производи-  
тельности древостоев, разработкой лесотаксационных моделей и нормативов.

Опытные данные представлены в виде данных измерительной таксации на 2377  
РКПП, заложенных при проведении выборочной лесоинвентаризации Гродненского  
ПЛХО.

Цель работы – выполнить множественный регрессионный анализ и оценить рег-  
рессионные модели связи диаметров и высот деревьев в сосновых древостоях для обра-  
ботки данных выборочной лесоинвентаризации и использования в лесоустройстве при  
таксации лесов Беларуси.

Связь диаметров и высот в составе древостоя того или иного типа леса или класса  
бонитета может быть представлена различными числовыми характеристиками. Часто  
делаются допущения, что кривая соотношений  $d$  и  $h$  в древостое близко приравнивается  
к кривой соотношений  $D$  и  $H$  множества древостоев. Кроме того, при таком рассмотре-  
нии высота зависит только от одного признака, чего в природе не бывает. Такие допу-  
щения вполне оправданы, если таксируется множество таксационных выделов и в ко-  
нечном итоге ошибки со знаком «+» и «-» приближаются к малой величине.

Соотношения диаметров и высот (кривые высот) одних и тех же пород для разных  
древостоев различаются (Анучин, 1981). Поэтому для анализа были отобраны насажде-  
ния максимально схожие, т.е. одной и той же серии типов леса (орляковый, чернич-  
ный), высокопродуктивные (I<sup>a</sup>-II классы бонитета), в пределах двух классов возраста  
(41-80 лет).

Изучению связи  $H$ - $D$  в литературе уделено большое внимание [1, 2, 3, 4]. Связь  $H$ -  
 $D$  обычно выражают с помощью различных математических моделей: полиномов 3-го  
порядка (Мошкалев, 1984); логарифмической кривой (Третьяков, 1927; Захаров, 1967)  
или ее усложненного варианта; гиперболы (Моисеенко, 1967) [2].

Многообразие используемых функций вызвано совпадением их графиков на оп-  
ределенном отрезке кривых. Так, М. Prodan (1965) предложил формулу

$H - 1.3 = \log a + b \cdot 1/x \cdot \log e$ . К.Е. Никитин (1966) сделал анализ известного уравнения Герхардта  $HG = aG + b$  и показал, что оно является частным случаем общего уравнения  $y = a_0 + a_1 d^c$  при  $c = -2$ . Приведенное уравнение К.Е. Никитин рекомендует для использования [2].

Проф. О.А. Атрощенко (1985) проанализировал зависимость Н-Д в чистых одно-возрастных, наиболее распространенных березовых насаждениях Беларуси и рекомендовал к практическому применению для прогноза роста насаждений уравнения Корсуня  $H = D^2 / (2.558 + 0.121D + 0.031D^2)$  и Бакмана  $LgH = -0.782 + 2.879 \lg D - 0.944 \lg^2 D$  [1].

Проф. В. Ф. Багинский проанализировал 10 наиболее распространенных уравнений, используемых для связи Н-Д, куда входили полиномы разных степеней (2-4-й), простые и усложненные гиперболы, различные логарифмические кривые и т. д. Оказалось, что в разных случаях лучшую аппроксимацию дают различные кривые. В большинстве случаев наилучшие результаты давали уравнение  $y = a_0 + a_1 \cdot d^c$ , рекомендованное К. Е. Никитиным, и полином 3-й степени. Также было отмечено, что каждое насаждение, особенно в зоне интенсивного ведения хозяйства, имеет свое индивидуальное соотношение Н-Д, которое достоверно может быть установлено только по замерам 10-15 высот в натуре, что подтвердило вывод, впервые сделанный Ф. П. Моисеенко [2].

Путем аналитического анализа моделей связи диаметров и высот деревьев в дровостое [1, 2, 3, 4] отобраны уравнения параболического, логарифмического и экспоненциального типов с преобразованием и без преобразования зависимой переменной:

$$h = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 \quad (1)$$

$$h = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3 \quad (2)$$

$$h = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^3 + b_4 d^4 \quad (3)$$

$$h = b_0 + b_1 d^{-2} \quad (4)$$

$$h = b_0 + b_1 d + b_2 d^{1/2} \quad (5)$$

$$h = b_0 + b_1 d^{-1} + b_2 d^{-2} \quad (6)$$

$$h = b_0 + b_1 d^{1/2} + b_2 d + b_3 d^2 \quad (7)$$

$$h = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d^{1/2} + b_4 d^{-1/2} + b_5 d^{-1} + b_6 d^{-2} \quad (8)$$

логарифмического типа

$$h = b_0 + b_1 \lg d \quad (9)$$

$$h = b_0 + b_1 d + b_2 \lg d \quad (10)$$

$$h = b_0 + b_1 d + b_2 \lg d + b_3 H_{100} \quad (11)$$

$$h = b_0 + b_1 \lg d + b_2 \lg^2 d \quad (12)$$

$$h = b_0 + b_1 d + b_2 \lg^2 d + b_3 \lg H_{100} \quad (13)$$

уравнения с преобразованием зависимой переменной

$$Lgh = b_0 + b_1 \lg d \quad (14)$$

$$Lgh = b_0 + b_1 \lg d + b_2 \lg^2 d \quad (15)$$

$$Lgh = b_0 + b_1 d + b_2 \lg^2 d \quad (16)$$

$$Lgh = b_0 + b_1 d + b_2 \lg d + b_3 H_{100} \quad (17)$$

$$Lgh = b_0 + b_1 \lg d + b_2 \lg^2 d + b_3 \lg H_{100} \quad (18)$$

$$Lgh = b_0 + b_1 \lg^2 d + b_2 \lg H_{100} \quad (19)$$

$$d/h = b_0 + b_1 d \quad (20)$$

$$d/h = b_0 + b_1 d + b_2 d^{-1} \quad (21)$$

$$d/h = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 \quad (22)$$

где  $h$ ,  $d$  – высота и диаметр дерева;  $H100$  – индекс класса бонитета;  $b_0, \dots, b_n$  – коэффициенты.

За индексы классов бонитета ( $H100$ ) приняты средние высоты сосновых древостоев в возрасте 100 лет [4]. Для I<sup>a</sup> класса бонитета индекс равен 33, для I и II классов бонитета 29 и 25 соответственно.

Обработка опытных данных и оценка коэффициентов регрессий способом подбора регрессионной модели, исходя из минимизации суммы квадратов остатков, производилась по программе Statgraphics и по программе Statistica для статистического анализа данных в среде Windows [5].

В соответствии с общими предпосылками регрессионного анализа при оценке уравнений связи диаметров и высот приняты следующие положения: 1) модель должна объяснять не менее 80% вариации высот деревьев ( $R^2 \geq 0.80$ ); 2) стандартная ошибка оценки высот по уравнению не более 10% среднего значения предсказываемого признака; 3) оценка значимости коэффициентов регрессии по t-критерию Стьюдента производилась на уровне значимости 0,05; 4) остатки от регрессии должны быть без заметной автокорреляции, нормально распределены и без систематической составляющей.

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) определяет вариацию высот деревьев относительно среднего уровня линии регрессии. В насаждениях I<sup>a</sup> класса бонитета вариация высот выше, нежели в насаждениях более низких классов продуктивности, и уравнения объясняют 63-77% вариации высот. Критерий Фишера используется как общий критерий значимости регрессии. Вычисленные критерии по всем уравнениям превышают критическое (табличное) значение, что указывает на достигнутое снижение общей вариации показателя, предсказанного по регрессиям. Оценки коэффициентов регрессий, как выборочных изменчивых показателей, получены с точностью 5-10% и по t-критерию значимы на принятом уровне.

Стандартные ошибки оценки высот по уравнениям составляют от 1 до 3 м, или до 15% (с вероятностью 0,67). Максимальные отклонения опытных значений высот от регрессий достигают 5-11 м. Значения стандартной ошибки и остатков от регрессии зависят от преобразования зависимой переменной. Параболы 2 и 3 порядков и модель (8) являются наиболее подходящими для интерполяции значений высот деревьев в пределах конкретных данных, а для системы прогноза высот деревьев в древостоях разных возрастов и классов бонитета дают большие погрешности. Уравнения логарифмического типа (9-10) дают систематическое занижение в оценке высот деревьев. Модели могут быть улучшены введением возраста деревьев или класса бонитета древостоя. Преобразование зависимой переменной ( $Lg h$ ) часто приводит к нормальному распределению остатков, уменьшению относительной ошибки и увеличению детерминации.

Результаты регрессионного анализа показали, что в качестве моделей связи высот и диаметров деревьев в сосновых древостоях можно применять уравнения следующего вида:

$$Lg h = -0.1117 - 0.0111 d + 1.1055 \lg d + 0.0075 H100 \quad (23)$$

( $R^2=0.905$ ;  $S=1.53$ ;  $F=193.1$ ;  $t_b=5.7$ ; 15.7; 6.7);

$$Lg h = -0.3727 + 1.641 \lg d - 0.397 \lg^2 d + 0.0057 H100 \quad (24)$$

( $R^2=0.900$ ;  $S=1.17$ ;  $F=200.3$ ;  $t_b=5.0$ ; 6,7; 5.9).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атрощенко О. А. Система моделирования и прогноза роста древостоев (на примере БССР): Дис. ... на соискание ученой степени доктора с.-х. наук: 06.03.02. – Киев, 1985.
2. Багинский В. Ф., Есимчик Л. Д. Лесопользование в Беларуси. – Мн.: Беларуская навука, 1996.
3. Свалов Н. Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования. – М.: Лесная промышленность, 1979.
4. Атрощенко О. А., Костенко А. Г. Направление применения моделей роста леса (на примере БССР). – Мн.: БелНИИТИ, 1980.
5. Тюрин Ю. Н., Макаров А. А. Анализ данных на компьютере. – М.: Финансы и статистика, 1995.

УДК 630\*181

Г. Я. Климчик, доцент; Л. С. Пашкевич, доцент; Л. И. Мухуров, ассистент;  
Е. Г. Акунович, аспирант

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ ДРЕВЕСНОЙ  
РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ  
НЕМАНСКОГО КОМПЛЕКСА ЛЕСНЫХ МАССИВОВ**

The modern condition of arboreal vegetation biovariety for a northeast part of Nyomansky wood's complex is determined.

Эффективность разработки и реализации подходов и практических мер по сохранению биоразнообразия растительного мира предполагает наличие определенного уровня знаний о состоянии самого биоразнообразия (его структуре, территориальном распределении, тенденциях и направлениях динамики) и основных факторах, определяющих пути его развития. Это, в свою очередь, зависит от степени изученности флоры, понимания ее пространственной и экологической дифференциации, основных закономерностей и направлений трансформации в современных условиях антропогенного воздействия, от полноты объективной информации, отражающей состояние и динамику экологических условий региона и конкретных типов местообитаний для северо-восточной части Неманского комплекса лесных массивов.

В современных условиях еловые леса комплекса характеризуются весьма широким диапазоном типологической и возрастной изменчивости – от однообразных монокультурных посадок до сохранившихся уникальных островков старого естественного леса. Столь значительная структурная дифференциация обуславливает различную экологическую значимость лесных территорий для сохранения биоразнообразия, а следовательно, и различную их природоохранную ценность. Это, в свою очередь, определяет стратегию отношения к тем или иным лесным территориям, являясь одним из главных критериев в выборе экологических или экономических приоритетов на уровне регионального природопользования.

Поскольку наиболее ценные первозданные и старовозрастные леса сохранились, кроме заповедников, лишь в наиболее удаленных и труднодоступных местах, например на островных возвышениях среди болот, на наиболее увлажненных участках среди обширных лесных массивов и т.д., они должны подлежать выявлению и взятию под охра-