

А. М. Егоржин, аспирант

**РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ СВЯЗИ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
С ЗАПАСОМ ДРЕВЕСНО-ВЕТОЧНЫХ КОРМОВ ЛЕСООХОТНИЧЬЕГО ХОЗЯЙСТВА
ГЛХУ «ЛЕПЕЛЬСКИЙ ЛЕСХОЗ»**

Regression models of the forest valuation parameters relation with wood-ramal forages volume can be used for estimation of forages capacity of forest hunting resources. It is possible to define wood-ramal forages capacity in the automated mode on the basis of forest mensuration information using computer technologies. For this purpose special program in MS Excel environment was developed to calculate wood-ramal forages volume of forest subcompartments. It is possible to use the results calculated on models for estimation of forest hunting resources forages capacity and to introduce wood-ramale forages volume parameter in the attributive database of information system «Forest hunting resources». In the «Forest hunting resources» system it is possible to receive thematic maps of distribution of wood-ramal forages volume value on investigated territory of the hunting facilities and to allocate sites with greater volumes of wood -ramal forages.

Введение. В результате хозяйственная деятельность человека, влияющей на окружающую среду, встает важная народнохозяйственная задача по изучению лесных биогеоценозов, их развития, устойчивости и способности к восстановлению. В Беларуси создана информационная система управления лесным хозяйством, в лесхозах внедрена геоинформационная система «Лесные ресурсы». Внедрение и развитие информационных технологий в лесном хозяйстве неразрывно связаны с математическим моделированием роста леса и лесохозяйственных процессов.

В последнее время в лесоводственных исследованиях получают распространение так называемые имитационные модели, которые широко используются в практике при разработке систем моделирования и прогноза роста насаждений. Когда имитационная модель отражает разнообразие взаимосвязи и возможную последовательность событий, ЭВМ становится нецеликом важным инструментом для рационализации процессов, совершенствования планирования и обоснованного прогноза [1]. На данный момент в рамках «Государственной программы по развитию охотничьего хозяйства на 2007–2010 годы» по заданию 32 «Отработка современных методов охотоустройства, разработка порядка проведения охотоустройства и проектов ведения охотничьих хозяйств» производится внедрение компьютерных технологий для решения задач охотничьего хозяйства и охотоустройства. Одна из задач этого направления – разработка новых методов оценки качества мест обитания диких копытных. Оценка качества охотничьих угодий для копытных животных в первую очередь должна основываться на емкости данных угодий. Емкость территории и допустимая плотность населения оленьих устанавливаются по запасам естественных кормов на зимних пастбищах, допустимому размеру их использования без существенного ущерба для лесовозобновления и потребностям этих животных в естественных кормах в течение зимнего периода. Всякая оценка угодий для

копытных должна перепроверяться определением кормовой емкости охотничьих угодий.

В бывшем СССР в 1960–1970-е гг. в связи с ростом численности оленьих, особенно лосей, были проведены обширные исследования по определению запасов кормов и кормовой емкости лесных угодий. Выяснилось, что запасы зимних древесно-веточных и кустарничковых кормов для оленьих необходимо определять по типам леса, породному составу, группам возраста и полноте насаждений.

Площади типов охотничьих угодий для получения запасов кормов необходимо брать из экспликации охотничьих угодий. Наиболее универсальной типологией для получения запасов кормов, на наш взгляд, является типология, предложенная проф. В. С. Романовым. Естественно, чем уже диапазон типа, тем точнее будут определены запасы древесно-веточных кормов.

Определение запасов древесно-веточных кормов при охотоустройстве неизбежно повлечет увеличение объемов выполняемых работ. Однако если на основе полученных данных построить регрессионные модели связи таксационных показателей с запасом древесно-веточных кормов, то определять этот показатель можно будет для каждого выдела лесного фонда, используя повыведельную базу данных ГИС «Лесные ресурсы». Кроме того, для целей современного охотоустройства необходимо иметь средства анализа и обработки картографической и атрибутивной информации в автоматизированном режиме.

Многие специалисты считают, что охотоустройство должно быть тесно связано с лесоустройством, т. е. должно проводиться комплексное научно обоснованное лесоохотоустройство. Охотоустройство должно проводиться одновременно с лесотаксационными работами, как на территории гослесфонда, так и на территории других землепользователей охотничьего хозяйства. Комплексное проведение лесоустроительных и охотоустроительных работ облегчает составление картографического материала

охотничьего хозяйства, дает возможность по единым материалам установить вред, наносимый охотничьими животными лесу и сельскохозяйственными угодьями, согласовать лесохозяйственные и охотхозяйственные мероприятия и главное – позволяет на основе лесотаксационного материала оценить охотничьи угодья, произвести их бонитировку, которая и является одной из главных задач охотоустройства. Для этого необходимо использовать трансформацию таксационных данных для установки ценности лесных охотничьих угодий для конкретного вида диких копытных животных [2].

Запас древесно-веточных кормов является одним из факторов, учитываемых при анализе качества лесных охотничьих угодий и расчете оптимальных плотностей диких копытных. При увеличении численности свыше оптимально допустимой, вред, причиняемый лесным насаждениям, быстро возрастает, и кормовая база истощается. Чтобы не допустить истощения кормовой базы и снизить вред, причиняемый копытными лесу, приходится регулировать численность этих животных с учетом наличия кормовой базы. От правильного определения кормовой емкости угодий, таким образом, будет зависеть допустимая плотность копытных на единице площади [3].

Цель исследования – выявление связи таксационных показателей с запасом древесно-веточных кормов для диких копытных, в различных типах лесных охотничьих угодий. И как конечный результат – получение регрессионных моделей, с помощью которых для каждого выдела лесного фонда рассчитать запас древесно-веточных кормов и внедрить полученные данные в информационную систему.

Методика исследования. Для определения запаса зимних древесно-веточных кормов в охотничьих угодьях использовались таблицы кормовой продуктивности древесно-веточных пород, разработанные Дуниным и Козло [3].

Работы проходили в несколько этапов:

1) выделялись на территории исследуемого объекта (лесхоза, лесничества) типы охотничьих угодий (биотопы);

2) для каждого типа охотничьих угодий в зависимости от его однородности намечалось необходимое количество пробных площадей по исследованию запасов зимних древесно-веточных кормов;

3) на пробных площадях определялись глазомерно-измерительным методом основные таксационные показатели; производился полный пересчет подроста и подлеска высотой до 6 м по ступеням высоты, равным 0,5 м; по результатам пересчета с использованием вспомогательных таблиц устанавливался запас зимних древесно-веточных кормов в поясе потрав для отдельных пород, для пробной площади в целом, и, далее, значение переводилось на 1 га.

Размер пробных площадей зависит от густоты подроста и подлеска и равномерности его распределения по площади участка. С учетом варьирования признака для получения запаса кормов с точностью 2,5% необходимо на пробной площади иметь не менее 250 шт. подроста сосны, 150 шт. осины, 250 шт. березы, 25 шт. ясеня, 150 шт. подлеска из ивы, 150 шт. крушины, 200 шт. рябины. Для сосновых культур достаточно иметь 150 учетных деревьев.

Величина запасов вычислялась путем умножения массы кормовых побегов одной средневзвешенной модели каждой ступени высоты (таблицы кормовой продуктивности древесно-веточных пород) на соответствующую численность стволов по формуле

$$V_1 = nv, \quad (1)$$

где V_1 – запас кормов определенной древесно-кустарниковой породы; n – количество стволов; v – масса кормовых побегов на одном стволике.

Для определения общего запаса кормов древесно-кустарниковой породы полученные запасы кормовых побегов каждой ступени высоты складываются:

$$V_{п.п.} = V_{ив} + V_{ряб} + V_{кр} + V_{ос} + \dots + V_n, \quad (2)$$

где $V_{п.п.}$ – запас кормов на пробной площади.

По запасу кормов каждой ступени высоты устанавливаются общие запасы на пробной площади и на 1 га в данном типе охотугодя:

$$V = \frac{V_{п.п.}}{S_{п.п.}}, \quad (3)$$

где $S_{п.п.}$ – площадь пробы, га.

Такие расчеты были выполнены на всех пробных площадях. Зная их количество в каждом типе охотугодий (4–6 шт.) и запас кормов, вычисляем средний запас на 1 га по формуле:

$$V = \frac{V_{п.п.}}{n}, \quad (4)$$

где $V_{п.п.}$ – общий запас кормов на всех пробных площадях в данном типе; n – количество пробных площадей.

В моделировании хода роста насаждений и разработке имитационных моделей строения и производительности древостоев широко используются множественные регрессионные модели. Математическое описание функций системы (биогеоценоза, насаждения и т. д.) в целом и функций связи отдельных элементов системы можно выполнить в виде обобщенного дискретного полинома Колмогорова – Габора:

$$Y = b_0 + \sum b_1 x_n + \sum b_{nn} x_n x_n + \dots + \sum b_n x_n^n, \quad (5)$$

При двух факторах (x_1, x_2) линейная модель первой степени имеет вид:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2, \quad (6)$$

где b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты регрессии.

Линейная модель второй степени имеет уже 11 членов:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2 + b_6x_1^2x_2 + b_7x_1x_2^2 + b_8x_1^2x_2^2 + b_9x_1x_2^2x_2 + b_{10}x_2^2x_1^2x_2^2. \quad (7)$$

Количество членов уравнения быстро растет с увеличением числа аргументов (факторов). Так, модель второй степени при четырех факторах включает 70 членов. Объем наблюдений возрастает также с увеличением числа переменных, поскольку число наблюдений должно быть в 5–7 раз больше числа факторов.

В уравнении (7) можно выделить три качественно отличные части: 1) линейную – с коэффициентом при аргументах в степени единица (b_1x_1 и b_2x_2); 2) нелинейную – с коэффициентами при аргументах в степени $m > 1$ ($b_4x_1^2$ и $b_5x_2^2$); 3) неаддитивную – с коэффициентами при произведениях аргументов по два, три и более ($b_3x_1x_2, b_6x_1^2x_2$ и т. д.).

Практика применения регрессионного анализа показывает, что нет необходимости рассматривать в уравнениях слишком высокие степени и произведения многих аргументов. На линейную часть уравнения часто приходится наибольшая информация (70–90%), а вклад нелинейной и неаддитивной частей сравнительно невелик [1].

Обсуждение результатов. В результате обработки полевых материалов построены регрессионные модели связи таксационных показателей с запасом древесно-веточных кормов для территории лесохозяйственного хозяйства ГЛХУ «Лепельский лесхоз». Регрессионные модели составлялись для

основных типов лесных охотничьих угодий по типологии Романова. Для расчета запаса ДВК использовались следующие таксационные показатели: тип леса, возраст, полнота, коэффициент состава преобладающей породы, индекс класса бонитета. Для составления регрессионных моделей использовался пакет Statistica 6.0, опция «Множественная регрессия». Для статистической обработки полученных уравнений использовались основные статистики, характеризующие уравнение. Это коэффициент корреляции R , коэффициент детерминации R^2 , преобразованный коэффициент детерминации *adjusted* R^2 , стандартная ошибка – *std. error* и критерий Фишера F . Результаты регрессионного анализа в пакете Statistica 6.0 сводятся в таблицу. Колонка, озаглавленная как Beta, содержит регрессионные коэффициенты, вычисленные с учетом предварительной нормировки переменных, а колонка St. Err. of Beta – их стандартные ошибки. Колонка B содержит коэффициенты регрессии, а колонка St. Err. of B – их стандартные ошибки. В колонке t приведены t -критерии Стьюдента, вычисленные для проверки параметрической гипотезы о равенстве коэффициента регрессии нулю. Если t -статистика превышает табличное значение для выбранного уровня значимости и соответствующего числа степеней свободы, гипотеза отвергается. Колонка p-level содержит вероятность того, что гипотеза о равенстве коэффициента регрессии нулю верна [4]. В результате с учетом значений t -критерия Стьюдента и при условии, что значение вероятности (p-level) меньше уровня значимости ($\alpha = 0,05$) отобраны коэффициенты при переменных в регрессионных уравнениях моделей. Регрессионные модели связи таксационных показателей с запасом древесно-веточных кормов для каждого типа лесных охотничьих угодий и их статистические показатели представлены в табл. 1.

Таблица 1
Регрессионные модели связи таксационных показателей с запасом древесно-веточных кормов и их статистические показатели

Типы лесных охотничьих угодий	Вид уравнения	Коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R^2	Преобразованный коэффициент детерминации <i>adjusted</i> R^2	Стандартная ошибка – <i>std. error</i>	Критерий Фишера F
Бор. сух.	$Y = -1,2 - 1,02 X_1^2 + 0,85 X_1X_5 - 0,011 X_2X_4 + -0,72 X_5$	0,86	0,71	0,71	2,31	745
Бор. слож.	$Y = -3,24 - 1,18 X_1^2 + 0,35 X_1X_5 - 0,003 X_2X_3 + 0,009 X_2X_5 - 0,86 X_4$	0,82	0,66	0,66	2,45	658
Бор. бол.	$Y = -4,08 - 0,85 X_1X_2 + 0,25 X_1X_5 - 0,047 X_2X_3 + 0,3 X_4$	0,84	0,69	0,69	2,51	587
Бл. слож.	$Y = -10,4 - 2,98 X_1 + 0,002 X_1X_2 + 0,01 X_1X_3 - 0,005 X_3X_5 - 0,5 X_4 + 1,4 X_5$	0,94	0,89	0,88	0,92	280
Бл. сырой и мокрый	$Y = -9,3 - 2,25 X_1 + 0,017 X_1X_3 + 0,024 X_3X_5 - 0,65 X_4 + 1,24 X_5$	0,91	0,87	0,86	1,28	350
Бер. слож.	$Y = 33,43 + 7,5 X_1 - 2,16 X_2 - 1,34 X_4 - 0,27 X_1X_5 + 0,07 X_2X_5$	0,83	0,68	0,68	1,74	154
Бер. сырой и болотный	$Y = 36,03 + 5,25 X_1X_2 - 1,65 X_3 - 2,14 X_4 - 0,11 X_1X_4 + 0,07 X_5^2$	0,88	0,72	0,71	2,32	224
Осинники	$Y = 26,72 + 0,06 X_1X_2 - 0,32 X_1^2 - 0,004 X_2^2 - 0,001 X_1^2$	0,82	0,67	0,6	2,52	154
Ольсы	$Y = 29,61 + 0,12 X_1 - 0,26 X_1X_2 - 0,02 X_2X_5 - 0,001 X_3^2$	0,86	0,72	0,72	1,78	321

Данные статистической оценки регрессионных моделей

Типы лесных охотничьих угодий	Число наблюдений	Среднее значение, кг/га		Абсолютное отклонение, кг/га		Относительное отклонение, %		Систематическое отклонение	Среднеквадратическое отклонение
		по опытным данным	по регрессионным моделям	положительное	отрицательное	положительное	отрицательное		
Бор. сух.	41	8,3	8,5	+1,6	-1,2	10,8	-13,3	5,2	2,3
Бор. сложн.	52	35,6	34,9	+2,3	-2,6	9,6	-11,0	-6,2	2,8
Бор. бол.	12	29,8	28,9	+2,1	-2,6	11,7	-8,7	4,5	2,7
Ел. слож.	36	25,3	25,8	+1,2	-1,1	12,3	-11,1	6,3	2,1
Ел. сырой и мокрый	38	20,6	21,0	+1,0	-0,9	9,7	-12,1	-7,1	1,8
Бер. слож.	20	25,3	25,9	+0,9	-0,7	7,1	-9,9	-3,1	1,9
Бер. сырой и болотный	14	15,9	16,2	+1,2	-0,9	10,1	-12,6	-2,3	2,1
Осинники	14	38,3	39,1	+2,1	-2,0	8,4	-10,2	-3,6	2,9
Ольсы	21	18,9	17,8	+0,9	-1,0	11,1	-12,7	-4,1	2,3

Представленные регрессионные модели могут использоваться для расчета запаса древесно-веточных кормов. В дальнейшем регрессионные модели были проверены на экспериментальном материале, и на основе полученных данных произведена статистическая обработка результатов. Данные статистической оценки регрессионных моделей приведены в табл. 2.

Как видно, полученные данные при проверке регрессионных моделей имеют небольшие отклонения. Максимальное положительное относительное отклонение составляет 12,3%, а максимальное отрицательное относительное отклонение – 13,3%.

Заключение. В результате обработки экспериментальных данных получены регрессионные модели связи таксационных показателей с запасом древесно-веточных кормов. Регрессионные модели построены для каждого типа лесных охотничьих угодий по типологии, предложенной проф. В. С. Романовым. Запас древесно-веточных кормов можно определять для каждого выдела лесного фонда в автоматизированном режиме, используя повыдель-

ную базу данных ГИС «Лесные ресурсы». Для этого необходимо создавать специальные программы в среде MS Excel. Рассчитанные по моделям данные в дальнейшем можно использовать при определении кормовой емкости лесных охотничьих угодий.

Литература

- Атрощенко, О. А. Моделирование роста леса и лесохозяйственных процессов / О. А. Атрощенко. – Минск: БГТУ, 2004. – С. 34–35.
- Падайга, В. И. Охотустройство в специализированном лесном хозяйстве / В. И. Падайга // Тезисы докладов к научно-производственному совещанию / ЛитНИИЛХ. – Каунас, 1983 – С. 45–48.
- Дунин, В. Ф. Лось в Беларуси: экология и лесохозяйственное значение / В. Ф. Дунин, П. Г. Козло. – Минск: Наука и техника, 1992. – С. 124–125.
- Машковский, В. П. Лесная биометрия: учеб.-метод. пособие / В. П. Машковский. – Минск: БГТУ, 2005. – С. 55–58.