

УДК 630*568

А.Е. Осипенко, С.В. Залесов
(A.Ye. Osipenko, S.V. Zalesov)
УГЛТУ, Екатеринбург
(USFEU, Ekaterinburg)

**ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ**

(APPLICATION OF THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FOR
THE APPROXIMATION OF THE PINE STAND TAXATION INDICES)

Описывается опыт применения искусственной нейронной сети для аппроксимации средней высоты и среднего диаметра 187 сосновых древостоев различного возраста (от 7 до 120 лет) и густоты (от 0,4 до 10,7 тыс. шт./га). Аппроксимация данных проводилась с помощью пакета программ MATLAB.

The experience of using an artificial neural network for approximating the average height and average diameter of 187 pine stand of various ages (from 7 to 120 years) and density (from 0.4 to 10.7 thousand pieces / ha) is described in the article. Approximation of the data was carried out using the Neural Network Toolbox, which is part of the MATLAB software package.

Объектом исследования выступают чистые по составу сосновые древостои ленточных боров Алтайского края и Республики Казахстан, произрастающие в условиях типа леса сухой бор пологих всхолмлений. Исследования охватывают древостои I–VI классов возраста (от 7 до 120 лет). Происхождение древостоев различно: 80 – естественных, 107 – искусственных. В 128 рассматриваемых древостоях не проводились рубки; в 37 древостоях проводились рубки ухода различной (от 9 до 30 %) интенсивности; данных о рубках в 22 древостоях нет.

Таксационные характеристики 93 сосновых древостоев были получены авторами статьи с помощью метода пробных площадей и общепринятых методик [1, 2], таксационные описания 94 древостоев были взяты из открытых источников, перечисленных в другой нашей статье [3].

Аппроксимация данных производилась с помощью программы Neural Network Toolbox, входящей в состав пакета программ MATLAB. В ходе работы применялась двухслойная сеть с прямой связью, скрытым слоем нейронов сигмоидального типа и линейными выходными нейронами. Используемый алгоритм обучения искусственной нейронной сети (ИНС) – Bayesian regularization.

Подбор оптимального значения нейронов в скрытом слое проводился путем многократных повторений процесса обучения ИНС с различным

количеством нейронов. По окончании процесса обучения оценивались следующие показатели: среднеквадратическая ошибка, коэффициент корреляции и соответствие модели биологическим особенностям объекта изучения. В результате было решено использовать ИНС с 5 нейронами в скрытом слое. Среднеквадратическая ошибка ИНС для тренировочного и тестового наборов данных составила 4,5 и 4,3 соответственно. Коэффициент корреляции (R) для обеих выборок составил 0,9.

В результате обучения ИНС была получена математическая модель, позволяющая определить среднюю высоту и средний диаметр сосновых древостоев (м/см) определенного возраста и густоты. С помощью модели была составлена таблица.

Аппроксимированные значения средней высоты (числитель)
и диаметра (знаменатель) сосновых древостоев

Возраст, лет	Густота, тыс. шт./га										
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
10	<u>2,0</u>	<u>2,0</u>	<u>1,9</u>	<u>1,8</u>	<u>1,8</u>	<u>1,8</u>	<u>1,8</u>	<u>1,9</u>	<u>1,9</u>	<u>2,0</u>	<u>2,0</u>
	3,8	3,3	2,6	2,1	1,7	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,2
20	<u>5,5</u>	<u>5,4</u>	<u>5,2</u>	<u>5,1</u>	<u>4,9</u>	<u>4,8</u>	<u>4,8</u>	<u>4,7</u>	<u>4,6</u>	<u>4,6</u>	<u>4,5</u>
	7,8	7,3	6,4	5,7	5,1	4,7	4,3	4,1	3,9	3,8	3,7
30	<u>8,7</u>	<u>8,5</u>	<u>8,2</u>	<u>7,9</u>	<u>7,6</u>	<u>7,4</u>	<u>7,2</u>	<u>7,1</u>	<u>6,7</u>	<u>6,7</u>	<u>6,6</u>
	11,2	10,5	9,4	8,5	7,7	7,0	6,5	6,1	5,8	5,5	5,3
40	<u>11,3</u>	<u>11,1</u>	<u>10,6</u>	<u>10,2</u>	<u>9,8</u>	<u>9,5</u>	<u>9,2</u>	<u>8,9</u>	<u>8,6</u>	<u>8,4</u>	<u>8,2</u>
	13,7	13,0	11,6	10,4	9,4	8,5	7,8	7,2	6,7	6,3	6,0
50	<u>13,4</u>	<u>13,1</u>	<u>12,5</u>	<u>12,0</u>	<u>11,5</u>	<u>11,1</u>	<u>10,7</u>	<u>10,3</u>	<u>10</u>	<u>9,7</u>	<u>9,4</u>
	15,6	14,6	13,0	11,6	10,4	9,3	8,4	7,7	7,0	6,5	6,0
60	<u>15,0</u>	<u>14,6</u>	<u>13,9</u>	<u>13,3</u>	<u>12,7</u>	<u>12,2</u>	<u>11,7</u>	<u>11,3</u>	<u>10,9</u>	<u>10,6</u>	–
	16,8	15,8	13,9	12,3	10,9	9,6	8,6	7,7	6,9	6,3	–
70	<u>16,1</u>	<u>15,7</u>	<u>14,9</u>	<u>14,2</u>	<u>13,6</u>	<u>13,0</u>	<u>12,5</u>	<u>12,0</u>	<u>11,6</u>	–	–
	17,8	16,7	14,6	12,8	11,2	9,8	8,6	7,5	6,6	–	–
80	<u>16,9</u>	<u>16,4</u>	<u>15,6</u>	<u>14,8</u>	<u>14,1</u>	<u>13,5</u>	<u>12,9</u>	<u>12,4</u>	–	–	–
	18,7	17,5	15,2	13,2	11,4	9,8	8,5	7,3	–	–	–
90	<u>17,3</u>	<u>16,9</u>	<u>16,0</u>	<u>15,2</u>	<u>14,4</u>	<u>13,8</u>	<u>13,2</u>	–	–	–	–
	19,6	18,3	15,9	13,7	11,7	10,0	8,5	–	–	–	–
100	<u>17,6</u>	<u>17,1</u>	<u>16,2</u>	<u>15,4</u>	<u>14,6</u>	<u>13,9</u>	–	–	–	–	–
	20,6	19,3	16,7	14,3	12,2	10,3	–	–	–	–	–
110	<u>17,8</u>	<u>17,3</u>	<u>16,4</u>	<u>15,5</u>	<u>14,7</u>	–	–	–	–	–	–
	21,7	20,3	17,6	15,1	12,9	–	–	–	–	–	–
120	<u>17,8</u>	<u>17,4</u>	<u>16,4</u>	<u>15,5</u>	–	–	–	–	–	–	–
	23,0	21,5	18,7	16,1	–	–	–	–	–	–	–

Данная таблица позволяет оценить таксационные показатели в статике, что может быть полезно при назначении и прогнозировании результатов рубок ухода.

Для того чтобы оценить успешность аппроксимации таксационных показателей искусственной нейронной сетью, результаты были сравнены с данными аппроксимаций с помощью уравнения Митчерлиха [4].

Данные расчетов свидетельствуют о том, что ИНС лучше справилась с задачей аппроксимации значений средней высоты и среднего диаметра древостоев на 2,5 и 2,8 % соответственно. Однако допустимый предел значений средней ошибки аппроксимации (10–15 %) все-таки был превышен, что говорит о недостаточно хорошем подборе модели для описания исходных данных.

Для повышения точности математической модели ИНС необходимо увеличить объем данных и количество входных нейронов. Например, можно добавить такие переменные, как происхождение древостоя, его положение относительно рельефа, экспозиция склона, наличие и интенсивность рубки, район произрастания и другие факторы, влияющие на средний диаметр и высоту древостоя.

Библиографический список

1. Основы фитомониторинга: учебное пособие / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, Е.А. Зотеева, А.Г. Магасумова. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. 89 с.
2. Данчева А.В., Залесов С.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения: учебное пособие. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. 152 с.
3. Osipenko A.E., Zalesov S.V., Bunkova N.P., Tolkach O.V., Terekhov G.G. Development of the neural network for the taxation indices // Computer Systems, Applications and Software Engineering Proceedings of the Annual Scientific International Conference. Nizhniy Tagil, 2018. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2131/> (дата обращения: 06.11.2018)
4. Кузмичев В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука, 1977. 160 с.