

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПОСРЕДСТВОМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Д.Д. Чистякова¹, Д.В. Арапов¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В данной работе рассматривается моделирование с помощью искусственных нейронных сетей роста лесов России на примере сосны обыкновенной и лиственницы южнокутских брусничниковых лесов.

Ключевые слова: нейронные сети, рост сосны, лиственницы, многослойный перцептрон.

MODELING OF TAXATION INDICATORS FOREST STANDS THROUGH NEURAL NETWORK

D.D. Chistyakova¹, D.V. Arapov¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. In this paper, modeling of Russian forest growth using artificial neural networks is considered using the example of Scots pine and larch of South Yakut lagoonberry forests.

Key words: neural networks, pine and larch growth, multilayer perceptron.

Исследованию и моделированию динамики естественного изреживания и роста лесных древостоев в различных условиях и климатических зонах России посвящено большое количество работ, например, [1-12]. В них приведены результаты математической обработки обширных наблюдений за естественным ростом и отпадом лесных насаждений сосны и лиственницы с различной густотой посадки в разновозрастных лесных монокультурных и поликультурных массивах. Установлено, что независимо от густоты посадок отпад (гибель) деревьев носит колебательный характер, и это является следствием инерционности меха-

низма саморегуляции биологическим систем, который действует на основе принципа обратных связей между слагающими биосистему компонентами. Установлено, что математическая модель (ММ) динамики гибели элементов биосистемы должна представлять собой аддитивную смесь функций временного тренда, волновой и случайной компонент. Для этого авторы широко используют регрессионные экспоненциальные функции типа Ципфа-Парето-Мандельброта, Пютера-Берталанфи, Г.Ф. Хильми, иногда аддитивно дополненные функцией $\cos(at)$, где t -возраст древостоев. Для моделирования средней толщины дерева используют экспоненциально-логарифмическую зависимость от возраста, а среднюю высоту и древесный запас рассчитывают с использованием экспоненциальных функций [3, 5, 6, 8]. В [7] установлена оптимальная густота посадки ели в лесокультурных и промышленных насаждениях, а в [12] исследована приживаемость саженцев сосны в условиях Карелии. Недостатком известных подходов к моделированию таксационных параметров древостоев является сравнительно низкая точность используемых регрессионных зависимостей. Например, относительная погрешность моделирования зависимости числа оставшихся живых деревьев от их возраста и густоты посадки [1, 2, 9, 11] составляет от 14% до 35%. К недостаткам регрессионных моделей также относится их невысокая прогностическая способность. Этих недостатков лишены ММ основанные на искусственных нейронных сетях, способные объединить в единое целое многочисленные опытные исследования и обеспечивающие достаточно высокую точность моделирования и обладающие надежной прогностической способностью. Высокая результативность применения искусственного интеллекта на предприятиях аграрно-промышленного комплекса и в медицине описана, например, в [13, 14]. Целью данного исследования является разработка на основе нейронных сетей ММ таксационных показателей лесных древостоев сосны и лиственницы.

Нейросетевое моделирование реализовали посредством стандартного модуля TensorFlow и языка Python, версия 3.11.7. Использованные библиотеки – Numpy и Matplotlib. В программе реализовали: считывание и разделение данных на входные и выходные, нормировку данных. Структура многослойного персептрона, число нейронов в каждом слое, вид функции активации, количество эпох (т.е. число прогонов алгоритма оптимизации), коэффициент валидации и другие параметры задаются и реализуются в модуле Net.py. Ответ нейронной сети осуществляется после минимизации целевой функции. При построении результирующих графиков по оси абсцисс выводятся номера опытов, по оси ординат – опытные и расчетные нейросетевые значения искомых параметров.

1. Моделирование хода роста насаждений сосны, созданных М.К. Турским. Нейронная сеть для моделирования является многослойным персептроном, включающим входной слой, два скрытых слоя по 35 нейронов и выходной слой, состоящий из одного нейрона. На два входа персептрона поступают нормированные значения возраста сосен (годы) и густоты их посадки (тыс. шт./га). С выхода выходного слоя снимается количество оставшихся после отходов живых деревьев (рисунок 1).

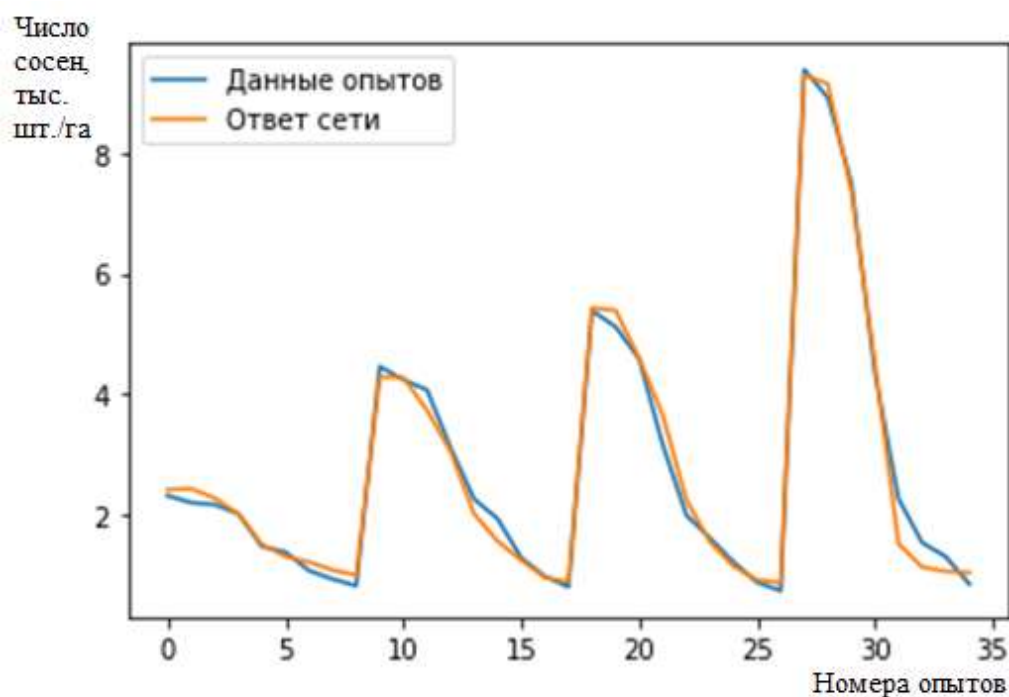


Рисунок 1 – Моделирование хода роста насаждений сосны, созданных М.К. Турским (возраст 1-80 лет)

Средняя относительная погрешность моделирования составила 8,5 %. Количество эпох равно 25000.

2. Моделирование обобщенных данных хода роста сосновых древостоев. Для всех трех искомых параметров (число живых деревьев, средняя высота и средний диаметр) выбрали многослойный персептрон, состоящий из входного слоя, двух скрытых слоев по 20 нейронов и однострунного выходного слоя, с выхода которого снимается значение параметра. На вход персептрона поступает нормированное значение возраста сосен от 10 до 200 лет. Зависимость числа оставшихся живых сосен от их возраста (от 20 до 200 лет) показана на рисунок 2.

Количество эпох было выбрано равным 25000. Средние относительные погрешности нейромоделирования соответственно равны: для числа живых сосен

– 6,3% (рисунок 2), для средних высот – 2,45%, для средних диаметров – 3,5%. В последних двух случаях временной диапазон составляет 10 – 200 лет.

3. Моделирование хода роста древостоев лиственницы южной Якутии. Структура выбранного персептрона аналогична предыдущему, но количество нейронов в двух скрытых слоях равно по 19. На вход персептрона поступает нормированное значение возраста лиственниц от 40 до 220 лет. С выхода выходного слоя снимается значение искомого параметра – количество оставшихся лиственниц, их средняя высота и средний диаметр (рисунок 3).

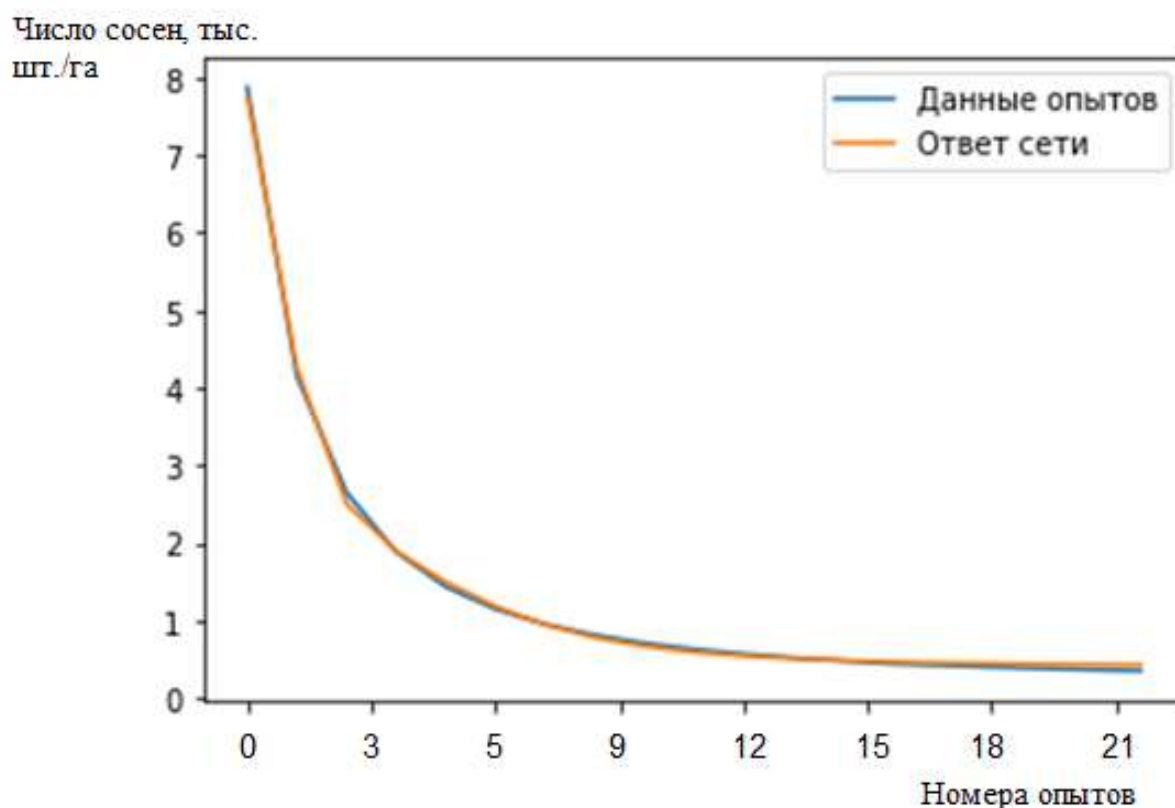


Рисунок 2 – Зависимость количества живых сосен от их возраста в пределах 20 – 200 лет

Количество эпох приняли равным 20000. Средние относительные погрешности нейромоделирования соответственно равны: для числа живых лиственниц – 3,51%, для средних высот – 0,83%, для средних диаметров – 0,91% (рисунок 3). Временной предел 40 – 220 лет.

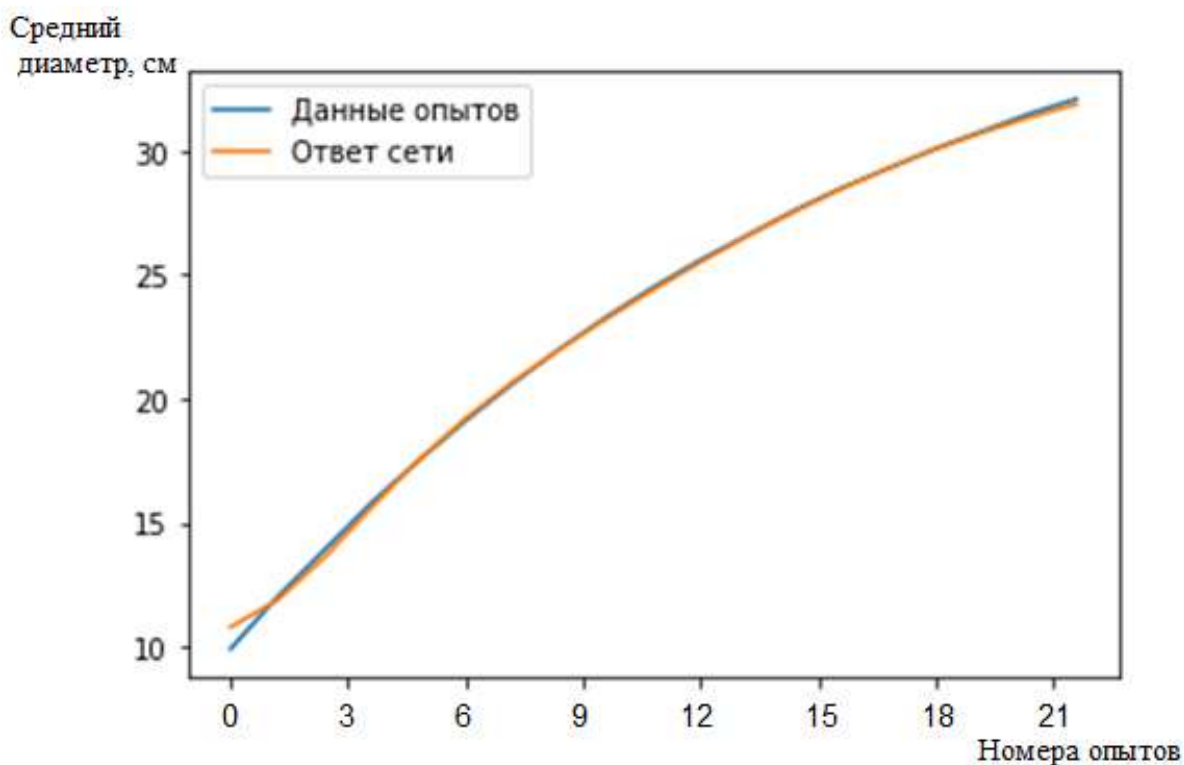


Рисунок 3 – Возрастное изменение среднего диаметра лиственниц в пределах от 40 до 220 лет

Проведенное нейромоделирование показало перспективность его использования для исследования закономерностей роста лесных древостоев, как в культурных, так и в естественных насаждениях. Предложенный подход к расчету таксономических показателей лесных насаждений выявил его существенное преимущество по сравнению с применением эмпирических моделей [15].

Список литературы

1. Демаков, Ю.Л. Диагностика устойчивости лесных экосистем. – Йошкар-Ола, 2000. – 416 с.
2. Богачев, А.В. Лесотаксационные исследования. – М., 2007. – 344 с.
3. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии: нормативные справочные материалы: 2-е изд. перераб. и дополн./ А.З Швиденко, Д.Г. Щепаченко, С. Нильссон, Ю.И. Булуй. – М., 2008. – 886 с.
4. Мерзленко, М.Д. Обоснование теории волнообразного роста хвойных лесных культур //Лесной вестник. – 2021. – Т. 25., №2. – С. 3 – 9.

5. Швиденко, А.З. Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России (таблицы хода роста) / А.З Швиденко, Д.Г. Щепашенко, С. Нильссон, Ю.И. Булуй // Лесное хозяйство. – 2003. – №6. – С. 34 – 38.
6. Швиденко, А.З. Система моделей роста и динамики продуктивности лесов России (таблицы и модели биопродуктивности) / А.З Швиденко, Д.Г. Щепашенко, С. Нильссон, Ю.И. Булуй // Лесное хозяйство. – 2004. – №2. – С. 40 – 44.
7. Мельник, П.Г. Лесокультурно-лесоводственное значение параметров размещения ели при посадке в национальном парке «Лосиный остров»/ П.Г. Мельник, Ф.Н. Воронин, М.Д. Мерзленко// Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – №1 (111). – С. 52 – 58.
8. Лебедев, А.В. Таксационные показатели сосновых древостоев по данным долговременных наблюдений/ А.В. Лебедев, В.В. Кузьмичев// Сибирский лесной журнал. – 2023. – №2. – С. 3 – 16.
9. Дубенок, Н.Н. Динамическая модель изреживания культур сосны/ Н.Н. Дубенок, А.В. Лебедев, В.В. Кузьмичев// Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2022. – Вып. №239. – С. 6 – 21.
10. Мерзленко, М.Д. Динамика роста сосны в старовозрастных древостоях сложного бора/ М.Д. Мерзленко [и др.]// Известия вузов. Лесной журнал. – 2018. – №4. – С. 31 – 39.
11. Шутов, И.В. Рост сосны в рядовых культурах при заданных вариантах густоты и разных ширине междурядий и шаге посадки/ И.В. Шутов [и др.]// Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2014. – №1. – С. 19 – 29.
12. Соколов, А.И. Сохранность и рост культур сосны, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой в условиях Карелии/ А.И. Соколов [и др.]// Известия вузов. Лесной журнал. – 2015. – №6. – С. 46 – 56.
13. Грачев, А.В. Применение нейросетевых технологий для прогнозирования состояния работы объектов предприятий АПК// Техника и технология пищевых производств. – 2023. – Т.53, №4. – С. 816 – 823.
14. Киреева, К.А. Разработка искусственной нейронной сети для классификации ЭКГ/ К.А. Киреева, Л.А. Коробова, Д.В. Арапов// Моделирование систем и процессов. – 2023. – Т.16, №3. – С. 42 – 54. – DOI: 10.12737/2219-0767-2023-16-3-42-54. EDN PERZZQ.
15. Лебедев, А.В. Эмпирические модели роста и производительности древостоев по данным долговременных наблюдений в условиях антропогенных воздействий и климатических изменений (4.1.6) : автореф. дис. ... докт. с./х.

наук: 4.1.6/ Лебедев Александр Вячеславович, М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2023. –40 с.

16. Заревич А.И., Макаренко Ф.В., Ягодкин А.С., Зольников К.В. Моделирование поведения мобильных роботов с использованием генетических алгоритмов // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 7-16.

17. Полуэктов, А. В. Моделирование влияния электромагнитных полей на микросхемы / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, К. В. Зольников // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 129-136. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-129-136. – EDN HWPUXU.

References

1. Demakov, Yu.L. Diagnostics of stability of forest ecosystems. – Yoshkar-Ola, 2000. – 416 p.

2. Bogachev, A.V. Forest taxational research, Moscow, 2007, 344 p.

3. Tables and models of the course of growth and productivity of plantings of the main forest-forming species of Northern Eurasia: normative reference materials: 2nd ed. reprint. and supplement/ A.Z. Shvidenko, D.G. Shchepashchenko, S. Nilsson, Yu.I. Bului. – M., 2008. – 886 p.

4. Merzlenko, M.D. Substantiation of the theory of undulating growth of coniferous forest crops //Lesnoy vestnik. – 2021. – Vol. 25., No. 2. – pp. 3-9.

5. Shvidenko, A.Z. A system of models of growth and dynamics of Russian forest productivity (tables of the course of growth) / A.Z. Shvidenko, D.G. Shchepashchenko, S. Nilsson, Yu.I. Bului // Forestry. – 2003. – No. 6. – pp. 34-38.

6. Shvidenko, A.Z. System of models of growth and dynamics of productivity of forests of Russia (tables and models of bioproductivity) / A.Z. Shvidenko, D.G. Shchepashchenko, S. Nilsson, Yu.I. Bului // Forestry. – 2004. – No. 2. pp. 40-44.

7. Melnik, P.G. The forest cultural and forestry significance of the parameters of spruce placement during planting in the Losiny Ostrov National Park/ P.G. Melnik, F.N. Voronin, M.D. Merzlenko// Bulletin of the Altai State Agrarian University. – 2014. – №1 (111). – Pp. 52-58.

8. Lebedev, A.V. Taxation indicators of pine stands according to long-term observations/ A.V. Lebedev, V.V. Kuzmichev// Siberian Forest Journal. – 2023. – No. 2. – pp. 3-16.

9 Dubenok, N.N. Dynamic model of thinning of pine crops/ N.N. Dubenok, A.V. Lebedev, V.V. Kuzmichev// Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy. – 2022. – Issue No. 239. – pp.6-21.

10. Merzlenko, M.D. Dynamics of pine growth in old-age trees of complex boron/ M.D. Merzlenko [et al.]// *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal*, 2018, No. 4, pp. 31-39.
11. Shutov, I.V. Pine growth in ordinary crops with given density options and different row spacing widths and planting steps/ I.V. Shutov [et al.]// *Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry*. – 2014. – No. 1. – pp. 19-29.
12. Sokolov, A.I. Preservation and growth of pine crops created by planting material with a closed root system in Karelia/ A.I. Sokolov [et al.]// *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal*, 2015, No. 6, pp. 46-56.
13. Grachev, A.V. Application of neural network technologies for predicting the state of operation of agricultural enterprises// *Machinery and technology of food production*, 2023, vol.53, No. 4, pp. 816-823.
14. Kireeva, K.A. Development of an artificial neural network for ECG classification/ K.A. Kireeva, L.A. Korobova, D.V. Arapov// *Modeling of systems and processes*. – 2023. – Vol.16, No. 3. – pp. 42-54. – DOI: 10.12737/2219-0767-2023-16-3-42-54. EDN PERZZQ.
15. Lebedev, A.V. Empirical models of growth and productivity of stands based on long-term observations under anthropogenic influences and climatic changes (4.1.6) : abstract of the dissertation.... Doctor of Agricultural Sciences: 4.1.6/ Lebedev Alexander Vyacheslavovich, Moscow: RGAU-MSHA named after K. A. Timiryazev, 2023. –40 p.
16. Zarevich A.I., Makarenko Ph.V., Yagodkin A.S., Zolnikov K.V. Modeling the behavior of mobile robots using genetic algorithms // *Modeling systems and processes*. – 2022. – Vol. 15, No. 3. – pp. 7-16.
17. Poluektov, A.V. Modeling of the influence of electromagnetic fields on microcircuits / A.V. Poluektov, R. Y. Medvedev, K. V. Zolnikov // *Modeling of systems and processes*. – 2024. – Vol. 17, No. 1. – pp. 129-136. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-1-129-136. – EDN HWPUXU.