

ДИНАМИКА ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ ПО ДАННЫМ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ**Н.Н. Дубенок, академик РАН, А.В. Лебедев, кандидат сельскохозяйственных наук***Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
127434, Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: alebedev@rgau-msha.ru*

Исследования проводили с целью сравнительной оценки расчетной и фактической динамики таксационных показателей (средние высота и диаметр, сумма площадей сечений и запас древесины) лесных культур сосны разной начальной густоты за 120-летний период по материалам долговременных наблюдений на постоянных пробных площадях. Объектом исследования служили культуры сосны на постоянных пробных площадях Лесной опытной дачи (г. Москва). Сопоставление роста и производительности древостоев на постоянных пробных площадях проводили с таблицами хода роста полных культур сосны в Европейской части России и с таблицами хода роста модальных сосновых древостоев Европейской части России (экорегионы южной тайги, зон смешанных, лиственных лесов и лесостепи). Фактические кривые динамики таксационных показателей располагаются во всем диапазоне представленных табличных значений. При этом таблицы хода роста дают сильно упрощенное представление об изменении таксационных показателей, которые в фактических древостоях имеют не монотонную динамику во времени. Отмечены значительные отклонения рядов динамики средних высот и диаметров, сумм площадей сечений, запасов древесины на пробных площадях от данных таблиц хода роста полных и модальных сосновых древостоев. Альтернативой традиционным таблицам могут выступать прогностические модели динамики таксационных показателей с разным начальным состоянием древостоев, в которых нет строгой привязки к бонитетной основе.

DYNAMICS OF STAND INDICATORS OF PINE PLANTATIONS ACCORDING TO THE DATA OF LONG-TERM OBSERVATIONS**N.N. Dubenok, A.V. Lebedev***Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
127434, Moskva, ul. Timiryazevskaya, 49
E-mail: alebedev@rgau-msha.ru*

The purpose of the study is to study the dynamics of stand indicators (average height and diameter, the basal areas and stock) of pine forest plantations of different initial density over a 120-year period based on long-term observations on permanent sample plots. The object of the study was pine plantations on permanent trial plots of the Forest Experimental Station (Moscow). Course of Growth tables are among the simplest models that reflect the change in stand indicators of a collection of forest stands. A comparison of the growth and yield of forest stands on permanent test plots was carried out with tables of the growth course of full pine plantations in the European part of Russia and with tables of the growth course of modal pine stands of the European part of Russia (ecoregions of the southern taiga, zones of mixed, deciduous forests and forest-steppe). The actual curves of the dynamics of stand indicators are located in the entire range of the presented tabular values. It was revealed that the tables of the course of growth give a greatly simplified idea of the change in stand indicators, which in actual forest stands do not have a monotonous dynamic over time. Significant deviations of the series of dynamics of average heights and diameters, basal areas, wood stocks on trial plots from the data of tables of the growth rate of complete and modal pine forest stands were noted. An alternative to traditional tables can be predictive models of the dynamics of stand indicators with different initial state of forest stands, in which there is no strict link to the quality basis.

Ключевые слова: культуры сосны (*Pinus sylvestris*), начальная густота, таксационные показатели, динамика древостоев, долговременные наблюдения.

Key words: pine plantations (*Pinus sylvestris*), initial density, stand indicators, stand dynamics, long-term observations.

Основы долговременных наблюдений за древостоями на постоянных пробных площадях заложены немецкими лесоводами в середине XIX в. [1, 2]. С тех пор во многих странах Европы стали создавать первые лесные исследовательские станции. За прошедший период накоплены продолжительные ряды данных о лесах Германии, Швейцарии, Швеции, Великобритании, Польши и других стран [3, 4, 5]. В России создание первых опытных объектов с целью организации продолжительных исследований также началось в середине XIX в. К их числу относятся экспериментальные посадки Лисинской казенной лесной дачи, Никольской лесной дачи, Лесной опытной дачи Петровской земледельческой и лесной академии [6]. В результате наблюдений накоплены сведения о динамике таксационных показателей древостоев на более чем 100 постоянных пробных площадях на каждом из объектов.

Данные долговременных экспериментов считают надежной основой для выявления закономерностей роста и продуктивности древостоев [7, 8]. По материалам таких наблюдений и результатам национальных инвентаризаций лесов выявлены закономерности роста и производительности древостоев главных лесообразующих пород [9]. С их использованием разрабатывают модели прогнозирования динамики таксационных показателей, обосновывают оптимальную структуру и породный состав древостоев, исследуют реакцию древесных растений на происходящие изменения окружающей среды и др. [10, 11]. Поэтому в условиях реализации принципов устойчивого лесопользования, как основы климатически оптимизированного лесного хозяйства, особую актуальность приобретает изучение роста и производительности древостоев на протяжении длительных промежутков времени.

Цель исследования – сравнительная оценка расчетной и фактической динамики таксационных показателей (средние высота и диаметр, сумма площадей сечений и запас древесины) лесных культур сосны разной начальной густоты за 120-летний период по материалам долговременных наблюдений на постоянных пробных площадях.

Методика. Объектом исследования служили культуры сосны на постоянных пробных площадях Лесной опытной дачи Российской государственной аграрной университета – МСХА имени К. А. Тимирязева. Наибольшее количество наблюдений накоплено по культурам сосны с начальной густотой посадки 32 тыс. (пробные площади 4/А, 4/Б, 4/Д, 4/Е, 4/Ж, 4/К, 4/Л, 4/М, 4/Н и 4/О), 8 тыс. (пробные площади 6/А, 6/Б, 6/Д, 6/Е, 6/Н, 6/Н1, 6/П, 6/Р, 6/Х, 6/Ц, 6/Ч и 6/Ш) и 2 тыс. (пробные площади 5/М1, 5/М2, 5/М3 и 5/М4) растений на 1 га. Внутри каждой рассматриваемой группы густоты совокупности не полностью однородные. На пробных площадях с начальной густотой 32 тыс. и 2 тыс. представлены сосновые древостои из семян различного географического происхождения, а с 8 тыс. проводили рубки ухода различной интенсивности, не приводящие к нарушению структуры древесного полога. Но, несмотря на разнообразие древостоев на пробных площадях, возможно выделение общих закономерностей в их росте и производительности.

Таблицы хода роста (ТХР) относят к самым простым моделям, которые отражают изменение таксационных показателей совокупности древостоев. Сопоставление их роста и производительности на постоянных пробных площадях проводили с таблицами хода роста полных культур сосны в Европейской части России (i) и с таблицами хода роста модальных сосновых древостоев Европейской части России (экорегions южной тайги, зон смешанных, лиственных лесов и лесостепи) (ii) [12]. Первые ТХР охватывают диапазон возрастов от 20 до 120 лет и классов бонитета от Ib ($SI = 36,2$ м) до V ($SI = 13,9$ м), вторые – от 20 до 140 лет и от I ($SI = 28,4$ м) до V ($SI = 13,6$ м) классов соответственно. Для более детального анализа использовали данные по совокупности отобранных постоянных пробных площадей, дифференцированных по критерию начальной густоты.

Результаты и обсуждение. Изменение средних высот древостоев на постоянных пробных площадях имеет возрастающий характер (рис. 1). Изменение классов бонитета в процессе роста происходило на протяжении всего периода наблюдений. В воз-

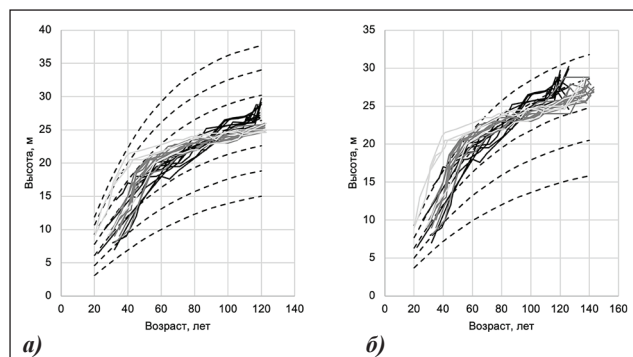


Рис. 1. Сопоставление роста по средней высоте с таблицами хода роста: а) полных древостоев, б) модальных древостоев; — начальная густота 2 тыс. шт.; --- начальная густота 8 тыс. шт.; ---- начальная густота 32 тыс. шт.; - - - - - данные таблиц хода роста.

расте 20...40 лет по ТХР полных культур сосновые насаждения на пробных площадях с начальной густотой 2 тыс. относились к Ib...I классам бонитета ($SI = 36,2...28,8$ м), 8 тыс. – к II...IV классам ($SI = 25,1...17,6$ м), 32 тыс. – к I...IV классам ($SI = 28,8...17,6$ м). В возрасте 80...120 лет древостои на большинстве пробных площадей соответствовали II классу бонитета ($SI = 25,1$ м), а ростовые траектории были относительно синхронны с бонитетной кривой.

Для древостоев с начальной густотой 2 тыс. на возрастном промежутке от 20 до 100 лет произошло снижение класса бонитета, а для древостоев с начальной густотой 8 и 32 тыс. – его повышение. В зависимости высот от возраста по классам бонитета между ТХР полных и модальных сосновых древостоев различия были незначительными. Графическое сопоставление данных по средним высотам пробных площадей с ТХР модальных древостоев показывает закономерности, схожие с выявленными для ТХР полных культур.

В кривых роста по среднему диаметру для отдельных пробных площадей наблюдается большая синхронность и согласованность, чем для средней высоты (рис. 2). На отдельных временных промежутках динамика средних диаметров соответствует табличным значениям (полных культур). Например, в древостоях с начальной густотой 2 тыс. в возрасте от 20 до 40 лет на трех пробных площадях из четырех кривые соответствуют Ib классу, в возрасте от 80 до 120 лет – II классу по ТХР. При начальной густоте 32 тыс. для большинства пробных площадей кривые роста по среднему диаметру находятся в диапазоне между II и III классами бонитета. Тем не менее практически на всех пробных площадях с возрастом происходит отклонение ростовых кривых в меньшую сторону относительно табличных значений.

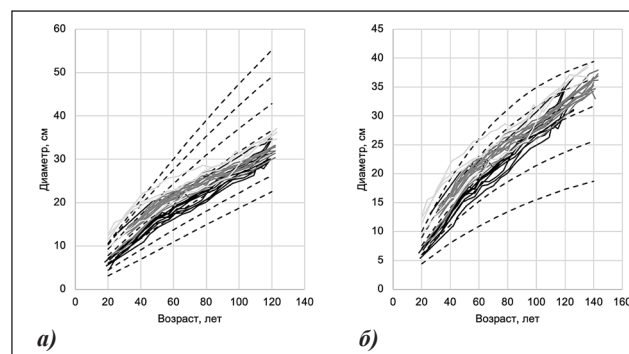


Рис. 2. Сопоставление роста по среднему диаметру с таблицами хода роста: а) полных древостоев, б) модальных древостоев; — начальная густота 2 тыс. шт.; --- начальная густота 8 тыс. шт.; ---- начальная густота 32 тыс. шт.; - - - - - данные таблиц хода роста.

При сопоставлении кривых роста на пробных площадях с данными ТХР модальных сосновых древостоев заметно, что при начальной густоте 2 и 8 тыс. после возраста 60 лет кривые роста переходят вниз на класс бонитета (с Ib...I к Ia...II классам), а после 120 лет возвращаются на исходную траекторию (Ib...Ia классы). Для варианта с начальной густотой 32 тыс. после 40...60 лет прослеживается переход кривой роста на траекторию, характерную для более производительных древостоев (например, с I к Ia классу). В целом кривые роста по среднему диаметру из ТХР модальных древостоев в большей степени соответствуют фактическим данным с пробных площадей.

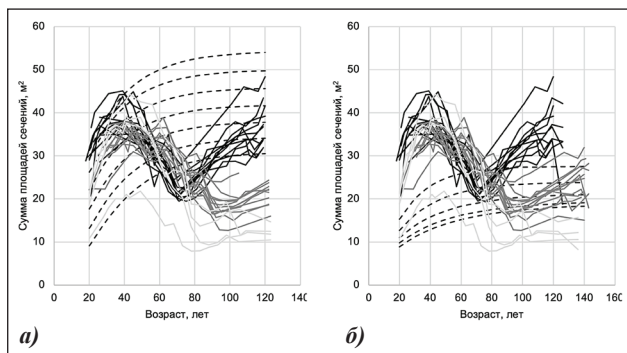


Рис. 3. Сопоставление изменения суммы площадей сечений с таблицами хода роста: а) полных древостоев, б) модальных древостоев: — начальная густота 2 тыс. шт.; -- начальная густота 8 тыс. шт.; - - - - - начальная густота 32 тыс. шт.; - - - - - данные таблиц хода роста.

Кривые из ТХР полных культур синхронны с рядами сумм площадей сечений на пробных площадях только на промежутке от 20 до 40 лет (рис. 3). При этом фактические кривые располагаются во всем диапазоне представленных табличных значений. В возрасте 70...90 лет из-за произошедшего значительного отпада деревьев суммы площадей сечений на пробных площадях меньше табличных для самого низко продуктивного V класса бонитета. И только для варианта с начальной густотой 32 тыс. в 100...120 лет суммы площадей сечений расположились в диапазоне табличных кривых для I...V классов бонитета. Для вариантов с начальной густотой 2 и 8 тыс. они почти в два раза меньше табличных для V класса бонитета. ТХР модальных сосновых древостоев сильно занижают значения сумм площадей сечений. Например, для культур I класса бонитета (начальная густота 2 тыс.) возраста 20...50 лет — более чем в 2 раза. Особенность рассматриваемых ТХР — незатухающий характер динамики сумм площадей сечений, в то время как у фактических древостоев прослеживается прохождение двух периодов увеличения, стабилизации и снижения их значений.

Основные закономерности динамики запасов древесины в древостоях пробных площадей, в сравнении с данными ТХР, аналогичны динамике сумм площадей сечений (рис. 4). В отличие от пробных площадей в рассматриваемых ТХР кривые запаса монотонно возрастают и не достигают ни одной точки кульминации, так как традиционно таблицы составляются только до возраста технической спелости, которая наступает раньше естественной. Известно несколько примеров ТХР [13, 14],

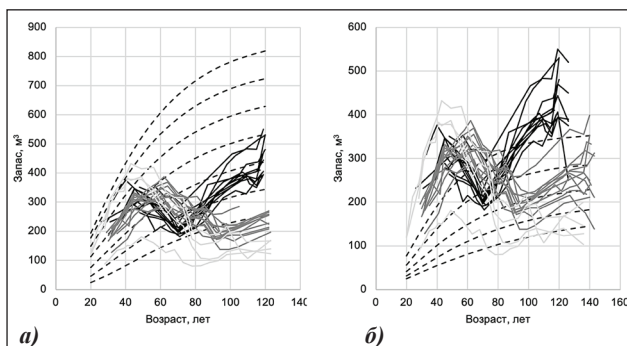


Рис. 4. Сопоставление изменения запаса с таблицами хода роста: а) полных древостоев, б) модальных древостоев: — начальная густота 2 тыс. шт.; -- начальная густота 8 тыс. шт.; - - - - - начальная густота 32 тыс. шт.; - - - - - данные таблиц хода роста.

в которых прослежен ход роста до разрушения древостоев, а кривые динамики запасов древесины имеют точку максимума (возраст естественной спелости).

До 40...50 лет динамика запасов древесины на пробных площадях соответствует кривым из ТХР полных древостоев с небольшими отклонениями от них. Далее в результате интенсивного отпада в рассматриваемых культурах начинается снижение запасов в среднем до возраста 70...90 лет с дальнейшим их повышением, например, до значений, характерных II...IV классам бонитета (начальная густота 32 тыс.) и V класса бонитета (начальная густота 8 тыс.). Если для ТХР полных древостоев значения запасов на пробных площадях не превышали Ib класс бонитета и опускались ниже уровня V класса, то для ТХР модальных древостоев — не опускались ниже уровня V класса, а в случае наличия в таблице данных по Ib и Ia классам полностью укладывались в диапазон кривых крайних бонитетов.

Выводы. Таблицы хода роста дают сильно упрощенное представление об изменении величины таксационных показателей, которые в фактических древостоях имеют не монотонную динамику во времени. Выявлены значительные отклонения рядов динамики средних высот и диаметров, сумм площадей сечений, запасов древесины на пробных площадях от данных ТХР полных и модальных сосновых древостоев. В ТХР все таксационные показатели увязаны в зависимости от класса бонитета, но в фактических древостоях они имеют индивидуальную траекторию, каждая из которых на определенных этапах роста может соответствовать кривым для разных классов бонитета. Альтернативой традиционным ТХР могут служить прогностические модели динамики таксационных показателей с разным начальным состоянием древостоев, в которых нет строгой привязки к бонитетной основе.

Литература.

1. Maintenance of long-term experiments for unique insights into forest growth dynamics and trends: review and perspectives / H. Pretzsch, M. del Río, P. Biber, et al. // *European Journal of Forest Research*. 2019. No. 138. P. 165–185. doi: 10.1007/s10342-018-1151-y.
2. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870 / H. Pretzsch, P. Biber, G. Schütze, et al. // *Nature Communications*. 2014. No. 5. URL: <https://www.nature.com/articles/ncomms5967> (дата обращения: 25.01.2023). doi: 10.1038/ncomms5967.
3. Lessons learned from a long-term irrigation experiment in a dry Scots pine forest: Impacts on traits and functioning / A. R. Bose, A. Rigling, A. Gessler, et al. // *Ecological Monographs*. 2022. Vol. 92. URL: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ecm.1507> (дата обращения: 25.01.2023). doi: 10.1002/ecm.1507.
4. Gran O., Götmark F. Long-term experimental management in Swedish mixed oak-rich forests has a positive effect on saproxylic beetles after 10 years // *Biodivers Conserv*. 2019. Vol. 28, P. 1451–1472. doi: 10.1007/s10531-019-01736-5.
5. Jagiello R., Łukowski A., Kowalkowski W. The Polish Provenances of European Larch Overperform the Expected Growth Dynamics Indicated by the Sigmoid Model // *Forests*. 2022. Vol. 13. URL: <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/11/1852> (дата обращения: 25.01.2023). doi: 10.3390/f13111852.
6. Дубенок Н. Н., Кузьмичев В. В., Лебедев А. В. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии. М.: Наука, 2020. 382 с.

7. Lebedev A. V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862 // *Journal of Forestry Research*. 2022. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-022-01569-z> (дата обращения: 25.01.2023). doi: 10.1007/s11676-022-01569-z.
8. Мерзленко М. Д. Обоснование теории волнообразного роста хвойных лесных культур // *Лесной вестник. Forestry Bulletin*. 2021. Т. 25. № 2. С. 5–9. doi: 10.18698/2542-1468-2021-2-5-9.
9. Self-learning growth simulator for modelling forest stand dynamics in changing conditions / T. Pukkala, J. Vauhkonen, K. T. Korhonen, et al. // *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 2021. Vol. 94. No. 3. P. 333–346. doi: 10.1093/forestry/cpab008.
10. Forest stand and canopy development unaltered by 12 years of CO₂ enrichment / R. J. Norby, J. M. Warren, C. M. Iversen, et al. // *Tree Physiology*. 2022. Vol. 42. No. 3. P. 428–440. doi: 10.1093/treephys/tpab107.
11. Hiura T., Go S., Iijima H. Long-term forest dynamics in response to climate change in northern mixed forests in Japan: A 38-year individual-based approach // *Forest Ecology and Management*. 2019. Vol. 449. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112719304785> (дата обращения: 25.01.2023). doi: 10.1016/j.foreco.2019.117469.
12. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии. Нормативно-справочные материалы / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепаченко, С. Нильсон и др. М.: Федеральное агентство лесного хозяйства, 2008. 886 с.
13. Тюрин А. В. Исследование хода роста нормальных сосновых насаждение Архангельской губернии // *Тр. по лесн. опытному делу в России*. СПб., 1913. Вып. 45. 135 с.
14. Милованович Д. А. Таблицы объемов, сбег и опытные таблицы хода роста условно VI и V бонитетов сосны Печорского края // *Лесоведение и лесоводство. Приложение № 1 журнала «Лесное хозяйство, Лесопромышленность и Топливо»*. 1927. Вып. 4. С. 125–146.

Поступила в редакцию 12.03.2023

После доработки 04.07.2023

Принята к публикации 18.07.2023