

<https://doi.org/10.25686/foreco.2024.53.28.004>

УДК 630.562:582.685.4 (470.57)

## ТЕКУЩИЙ ПРИРОСТ ДРЕВОСТОЕВ ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ (*TILIA CORDATA* MILL.) В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

А.К. Габделхаков, Д.И. Ахметкужин, А.А. Бикмухаметов, М.Р. Еникеев, А.Р. Мусабилова  
Башкирский государственный аграрный университет

На фоне меняющегося климата для устойчивого управления насаждениями липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) необходима надежная информация о долгосрочном развитии продуктивности, потенциале адаптации и смягчения последствий их древостоев. В этом контексте проанализирован текущий прирост липняков на двух постоянных пробных площадях, выявлены его отклонения от данных таблиц хода роста и произведена оценка его реакции на засуху. Определение текущего прироста запаса древостоев на пробных площадях произведено путем периодической инвентаризации с 1990 по 2023 гг. Дополнительно проведен ретроспективный расчет текущего прироста запаса путем измерения годовичных колец на кервах. Текущий прирост запаса первого древостоя в возрасте 62-90 лет варьирует в пределах 2,6-9,4 м<sup>3</sup>/га·год<sup>-1</sup>, а второго – в возрасте 87-102 лет от 4,00 до 5,25 м<sup>3</sup>/га·год<sup>-1</sup>. Реконструированные текущие приросты варьируют меньше, причем для первого древостоя они на порядок выше (6,82-7,92 м<sup>3</sup>/га·год<sup>-1</sup>), по сравнению с данными второго (3,42-4,02 м<sup>3</sup>/га·год<sup>-1</sup>). Несмотря на возраст древостоев и значительное варьирование ретроспективных расчетных значений текущего прироста по годам, наблюдается его тенденция к увеличению по сравнению с данными таблиц хода роста. Причинами отклонений являются как изменение роста исследованных липняков на фоне климатических изменений, так и недостатки таблиц хода роста, которые неадекватно описывают прирост после 80 лет. Несмотря на отклик исследованных насаждений, корреляционно значимых различий в реакции прироста на эпизодический стресс от засухи 1998, 2010 и 2021 гг. не выявлено. Делается вывод о необходимости дальнейших исследований в этой области, чтобы скорректировать или составить новые региональные таблицы хода роста и оценить адаптационные возможности древостоев липы мелколистной.

**Ключевые слова:** изменение климата, липа мелколистная, постоянная пробная площадь, текущий прирост, приростные керны, таблица хода роста, Республика Башкортостан.

## CURRENT INCREMENT OF SMALL-LEAVED LINDEN STANDS (*TILIA CORDATA* MILL.) IN CONDITIONS OF CHANGING CLIMATE

A.K. Gabdelkhakov, D.I. Akhmetkuzhin, A.A. Bismukhametov, M.R. Enikeev, A.R. Musabirova  
Bashkir State Agrarian University

In the context of a changing climate, sustainable management of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) stands requires reliable information on the long-term productivity development, adaptation potential and mitigation of their impacts. In this context, the current increment of lime trees in two permanent sample areas was analyzed, its deviations from the data of the yield tables were revealed and its response to drought was assessed. The current increment in the stock of forest stands on the test plots was determined by means of periodic inventory from 1990 to 2023. Additionally, a retrospective calculation of the current increment was carried out by measuring the annual rings on the cores. The current increment in the stock of the first stand at the age of 62-90 years varies within the range of 2.6-9.4 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup>, and the second at the age of 87-102 years from 4.00 to 5.25 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup>. The reconstructed current increments vary less, and for the first stand they are an order of magnitude higher (6.82-7.92 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup>), compared with the data of the second (3.42-4.02 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup>). Despite the age of the stands and the significant variation in the retrospective calculated values of the current growth over the years, there is a tendency for it to increase in comparison with the data of the yield tables. The reasons for the deviations are both the change in the growth of the studied lime stands against the background of climatic changes, and the shortcomings of the yield tables, which inadequately

describe the growth after 80 years. Despite the response of the studied stands, there were no correlations significant differences in the response of growth to episodic stress from drought in 1998, 2010 and 2021. It is concluded that further research is needed in this area in order to adjust or compile new regional yield tables and assess the adaptive capabilities of small-leaved linden stands.

**Keywords:** climate change, small-leaved lime, permanent research plot, current increment, increment cores, yield table, Republic of Bashkortostan.

## Введение

Начиная с конца 1980-х годов европейские исследователи указывают на долгосрочное увеличение роста лесов (Bösch, 2001; Pretzsch et al., 2014b, 2023), которое отклоняется от моделей роста древостоев, приведенных в таблицах хода роста (Staupendahl et al., 2016; Fischer et al., 2018; Pretzsch et al., 2020). Увеличение роста лесных насаждений связано с повышением температуры, удлинением вегетационного периода и других компонентов изменения климата (Pretzsch et al., 2018). Повышение темпов текущего прироста приводит к достижению количественной и технической спелости в более раннем возрасте. Поскольку таблицы хода роста являются одним из основных средств планирования лесного хозяйства, подобные смещения могут привести к ошибкам в стратегии управления отраслью.

Современные изменения климата, происходящие как на местном, так и на глобальном уровне, как произошедшие, так и прогнозируемые, оказывают значительное влияние на частоту чрезвычайных климатических ситуаций, в том числе засух (Авла и др., 2024). В будущем леса столкнутся с изменившимися условиями роста, и пока неясно, как виды деревьев отреагируют на эти изменения (Meinardus et al., 2011; Aldea et al., 2023). Множество факторов будут индивидуально или в различных комбинациях влиять на рост и состояние широколиственных древесных пород. Например, в меняющемся климате восприимчивость деревьев к болезням может возрасти в результате вызванного засухой стресса, в то же время новые болезни или вредители могут воздействовать на деревья, а существующие вредители и болезни могут стать более разрушительными (Hemery et al., 2010). Поэтому необходимо улучшить как понимание, так и прогнозирование реакций лесов на изменение климата (Hartmann et al., 2022).

Повышение устойчивости лесных экосистем к климатическим изменениям ориентирует лесоводов на формирование лесных насаждений из более широкого разнообразия древесных пород. В настоящее время в этом направлении преобладают исследования таких распространенных коммерческих видов, как сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), ель европейская (*Picea abies* L.), бук европейский (*Fagus sylvatica* L.), дуб (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L.) и береза (*Betula pendula* Roth. и *Betula pubescens* Ehrh.) (Иванов и др., 2021; Pretzsch et al., 2014a; Aldea et al., 2023). Проблема прогнозирования реакций насаждений липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) на изменение климата, включая периодически повторяющиеся засухи, и адаптации управления ими остается малоизученной (Barniak et al., 2014; De Jaegere et al., 2016; Latte et al., 2020).

Целью настоящей работы является улучшение знаний о тенденциях производительности древостоев липы мелколистной на фоне глобального изменения климата. В этом контексте нами для древостоев липы проанализирован их прирост, чтобы: 1) количественно оценить общую тенденцию скорости текущего прироста; 2) выявить отклонения текущего прироста от данных таблиц хода роста; 3) оценить реакции прироста древостоев на засуху.

### **Материалы и методика исследования**

Данные о приросте насаждений липы мелколистной были получены на двух постоянных пробных площадях (ППП), расположенных на территории Дмитриевского участкового лесничества, около деревни Ягодная Поляна, в 13 км на северо-запад от центра г. Уфа (Республика Башкортостан). ППП заложены в 1990 и 1991 гг., находятся на высоте около 140 метров над уровнем моря, произрастают на темно-серой лесной суглинистой почве. Климат континентальный, с такими средними температурами воздуха: годовая  $+3^{\circ}\text{C}$ , января  $-15^{\circ}\text{C}$ , июля  $+19^{\circ}\text{C}$ . Среднее годовое количество осадков составляет около 500 мм.

Оба древостоя порослевого происхождения, III класса бонитета, снытьевой группы типов леса, одновозрастные и не подвержены рубкам. На ППП все деревья с диаметром на высоте 1,3 м ( $d$ ) выше 6 см были пронумерованы, собрана информация об их состоянии (живые или сухостойные), видах,  $d$  и высотах ( $h$ ). Дополнительно учитывалась валежная древесина. Такое наблюдение на ППП проводилось с определенной периодичностью, что позволило использовать для расчета прироста древостоев как выжившие при смежных учетах деревья, так и ушедшие в отпад.

Определение текущего прироста запаса древостоев ( $Z_{MA}$ ) на ППП произведено упрощенно с применением объемных таблиц (Сортиментные..., 2002) с двумя входами ( $d$  и  $h$ ), как разница между запасами в настоящее время ( $M_A$ ) и  $t$  лет назад ( $M_{A-t}$ ) с учетом отпада за учетный период ( $M_t^0$ ), соотнесенное к  $t$ :

$$Z_{MA} = \frac{M_A - M_{A-t} + M_t^0}{t}. \quad (1)$$

Кроме отпада, между двумя периодами наблюдений учитывался объем деревьев, которые превысили порог  $d$  в 6 см и перешли из категории подроста в древесный ярус.

Дополнительно для древостоев ППП проведен ретроспективный расчет текущего прироста запаса как средний периодический ( $Z'_{MA}$ ) и годичный ( $Z_{VA}$ ) за период с 1990 по 2023 год путем измерения годичных колец на кервах, полученных с растущих деревьев (Neum et al., 2018). В отличие от  $Z_{MA}$ , полученных в результате повторных инвентаризаций на ППП, ежегодный прирост запасов этих древостоев за более чем 30 лет позволяет сделать анализ их тенденции по сравнению с таблицами хода роста (ТХР), а также оценить его в связи с происходящими изменениями климата.

Отбор кернов для каждой ППП производился в буферной зоне на выборке из 60 деревьев липы по всем ступеням толщины, чтобы иметь возможность экстраполировать их на прирост деревьев всего древостоя. Керны пробурены на высоте ствола 1,3 м с юго-восточной стороны деревьев (на части деревьев по два керна – дополнительно с северо-восточной части). Подготовленные керны сканировали в разрешении 1200 dpi (пикселей на дюйм) в масштабе 1:1000 и получали цифровые снимки в формате jpeg, которые обрабатывались в ГИС «Панорама». Сформированные дендрометрические временные ряды по замерам ширины годичных колец подвергнуты перекрестной датировке и синхронизации в программе Verify for Windows (Grissino-Mayer, 1997).

Ежегодное приращение ширины годичных колец позволило рассчитать процент прироста площади сечения деревьев:

$$P_g = 100 \cdot \frac{d^2 - (d - d_{t-1})^2}{(d - d_{t-1})^2}, \quad (2)$$

где  $d_{t-1}$  – диаметр год назад, см.

Процент прироста по высоте найден по формуле:

$$P_h = 100 \cdot \frac{h^2 - (h - h_{t-1})^2}{(h - h_{t-1})^2}, \quad (3)$$

где  $h_{t-1}$  – высота год назад (м).

При отсутствии возможности рубки модельных деревьев и оценки скорости роста по высоте на растущих деревьях, прирост по высоте определялся как разница между вероятностной оценкой высоты при текущем диаметре и предполагаемой прошлогодней высотой, которая оценивается по кривой высоты, за вычетом от текущего диаметра прироста диаметра, полученного из приростного керна. В качестве кривой высоты использовали модель, составленную по данным сортиментных таблиц для второго разряда высот.

$$h = 1.3 + 1,427204 \cdot d - 0,036890 \cdot d^2 + \\ + 0,000457 \cdot d^3 - 0,000002 \cdot d^4, \quad (4)$$

с  $R^2=0,99$ ,  $RMSE=0,038$ ,  $F=55602$  при  $p<0,001$ .

В краткосрочной перспективе процент изменения коэффициента формы пренебрежимо мал, следовательно, процентный прирост объема деревьев будет примерно равным:

$$P_V = P_g + P_h. \quad (5)$$

Выравненные по  $d$  расчетные значения  $P_V$  учетных деревьев по ступеням толщины используются для нахождения ежегодного текущего прироста древостоя по запасу:

$$Z_{V_A} = \sum_{j=1}^m (Z_{V_j} \cdot n_j) = \sum_{j=1}^m (0,01 \cdot P_{V_j} \cdot V_j \cdot n_j), \quad (6)$$

где  $P_{V_j}$  – процент текущего годового прироста объема ствола, отнесенный к  $j$ -ой ступени толщины;  $V_j$  – объем ствола из сортиментных таблиц, отнесенный к  $j$ -ой ступени толщины;  $n$  – количество деревьев в  $j$ -ой ступени толщины;  $m$  – количество ступеней толщины древостоя.

Сравнение реконструированных среднепериодического ( $Z'_{M_A}$ ) и годовичного ( $Z_{V_A}$ ) значений текущих приростов проведено с данными ТХР насаждений липы III класса бонитета. Использовали ТХР, разработанные во второй половине прошлого столетия для Башкирской АССР С.И. Козьяковым (1963), Татарской АССР Г.М. Буховец (1965), Средней Волги Е.С. Мурахтановым (1972) и Германии Т. Wöckmann (1991). Для этого значения  $Z_{M_A}$  таблиц хода роста были оцифрованы параболической функцией третьей степени ( $R^2>0,99$  при  $p<0,05$ ). Эти модели использовались для графического представления результатов (рис. 1) и служили эталонными значениями текущего прироста запаса древостоев для вывода относительных показателей прироста ( $Z$ ) путем деления реконструированного значения текущего прироста запаса древостоя ( $Z_{V_A}$ ) на смоделированное значение прироста соответствующей ТХР ( $Z_{M_A}$ ):

$$Z = Z_{V_A} / Z_{M_A}, \quad (7)$$

Относительные показатели прироста за последние  $i=1...32$  года позволяют проанализировать тенденции отклонений прироста запасов от показателей продуктивности ТХР и их долгосрочные тренды на фоне климатических факторов (Pretzsch et al., 2020).

Данные о погоде выбраны по ближайшей к ППП метеорологической станции г. Уфа. В качестве климатических показателей рассматривались суммы годовой (октябрь предшествующего года – сентябрь текущего), а также за вегетационный период (май-сентябрь) температуры воздуха и выпавших осадков (Погода и климат).

Идентификация засухи произведена для указанных периодов по стандартизированному индексу осадков (SPI), рассчитанному по данным метеостанции начиная с 1930 г. Методика расчета SPI и компьютерная программа (SPI\_SL\_6.exe) приведены в руководстве (ВМО, 2012). Засушливым периодом считается, когда SPI является постоянно отрицательным, и достигает интенсивности, когда его значение равно  $-1,0$  и менее. В соответствие с этим критерием, засушливыми событиями нами определены 1998, 2010 и 2021 годы.

Для расчетов, помимо вышеперечисленных программ, использованы пакеты Microsoft Excel и Statistica.

### Результаты исследования

В табл. 1 представлены таксационные характеристики ППП в возрастной динамике.

Таблица 1. Динамика таксационных показателей исследуемых древостоев

| <i>A</i> ,<br>лет                      | <i>H</i> ,<br>м | <i>D</i> ,<br>см | <i>N</i> ,<br>экз.га <sup>-1</sup> | <i>G</i> ,<br>м <sup>2</sup> га <sup>-1</sup> | <i>M<sub>A</sub></i> ,<br>м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> | <i>M<sub>t</sub><sup>0</sup></i> ,<br>м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> | <i>Z<sub>MA</sub></i> ,<br>м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup> | <i>Z'<sub>MA</sub></i> ,<br>м <sup>3</sup> га <sup>-1</sup> год <sup>-1</sup> |
|----------------------------------------|-----------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| ППП №1 (54.77855 с.ш. и 55.77220 в.д.) |                 |                  |                                    |                                               |                                                           |                                                                       |                                                                              |                                                                               |
| 57                                     | 18,8            | 20,6             | 867                                | 30,90                                         | 281                                                       | 12                                                                    | –                                                                            | 7,61                                                                          |
| 62                                     | 19,1            | 21,6             | 864                                | 33,09                                         | 296                                                       | 19                                                                    | 6,80                                                                         | 7,72                                                                          |
| 73                                     | 19,2            | 22,9             | 855                                | 36,71                                         | 335                                                       | 43                                                                    | 7,45                                                                         | 7,92                                                                          |
| 80                                     | 19,3            | 24,1             | 825                                | 40,33                                         | 380                                                       | 14                                                                    | 8,43                                                                         | 7,58                                                                          |
| 85                                     | 19,8            | 25,8             | 749                                | 40,81                                         | 389                                                       | 4                                                                     | 2,60                                                                         | 7,49                                                                          |
| 90                                     | 20,1            | 27,2             | 708                                | 43,23                                         | 418                                                       | 18                                                                    | 9,40                                                                         | 6,82                                                                          |
| ППП №2 (54.79566 с.ш. и 55.73697 в.д.) |                 |                  |                                    |                                               |                                                           |                                                                       |                                                                              |                                                                               |
| 71                                     | 21,8            | 29,6             | 340                                | 23,53                                         | 232                                                       | 7                                                                     | –                                                                            | 3,44                                                                          |
| 87                                     | 22,7            | 33,9             | 318                                | 28,33                                         | 286                                                       | 23                                                                    | 4,81                                                                         | 3,94                                                                          |
| 95                                     | 22,9            | 36,1             | 310                                | 30,78                                         | 314                                                       | 14                                                                    | 5,25                                                                         | 4,02                                                                          |
| 102                                    | 23,0            | 37,8             | 290                                | 31,58                                         | 326                                                       | 16                                                                    | 4,00                                                                         | 3,42                                                                          |

Древостой ППП №1 состава 10ЛП+Б+Д+КЛ был охвачен инвентаризацией с 1990 по 2023 гг. шесть раз. За этот период времени, общее количество деревьев сократилось с 867 до 708 экз./га. Береза, присутствовавшая в количестве 13 экз./га, уменьшилась до 3, дуб с 10 до 9 соответственно. Три экземпляра вяза выпали к 73-летнему возрасту. Количество деревьев клена, перешедших из подроста в древостой к 2023 г., составило 6 экз./га. Средняя высота древостоя за этот период увеличилась с 18,8 м до 20,1 м, а запас растущего леса – с 281 до 418 м<sup>3</sup>/га. За период наблюдения отпад составил 110 м<sup>3</sup>/га, причем в возрасте 62, 73 и 90 лет он в среднем выше (3,8, 3,9 и 3,6 м<sup>3</sup>/га/год соответственно), чем в остальные периоды (0,8-2,4 м<sup>3</sup>/га/год).

ППП №2, характеризующаяся составом 10ЛП+В+КЛ, с 1991 по 2022 гг., была инвентаризирована четырежды. На начальный момент инвентаризации на ППП в составе древостоя участвовали береза и дуб, которые выпали к 2007 и 2015 годам соответственно. К 2022 г. количество вяза, превысивших порог *d* в 6 см, составило 3 экз./га. Изменение средней высоты древостоя составило 1,2 м, запас растущего леса увеличился с 232 до 326 м<sup>3</sup>/га. Отпад за весь инвентаризационный период составил 60 м<sup>3</sup>/га.

Относительная полнота ППП №1 в данных условиях местопроизрастания максимальна (1,0), для ППП №2 – 0,8. Распределение деревьев липы по ступеням толщины показало соответствие их нормальному распределению на всех этапах наблюдений. Текущий прирост запаса древостоя ППП №1 в возрасте 62-90 лет варьирует в пределах 2,6-9,4 м<sup>3</sup>/га/год, а ППП

№2 – в возрасте 87-102 года от 4,00 до 5,25 м<sup>3</sup>/га/год (табл. 1). Реконструированные текущие приросты варьируют меньше, причем для ППП №1 они на порядок выше (6,82-7,92 м<sup>3</sup>/га/год), по сравнению с данными ППП №2 (3,42-4,02 м<sup>3</sup>/га/год), что соответствует его возрасту и полноте.

Сравнение расчетных значений  $Z_{VA}$  с данными таблиц хода роста представлено на рис. 1. Древоостой ППП №1 демонстрирует превышение показателей прироста отечественных ТХР. Прирост ППП №2 находится в наиболее близком соответствии к ним, несмотря на меньшую относительную полноту. Отношение значений реконструированного текущего прироста запаса ( $Z_{VA}$ ) к соответствующему приросту запаса ( $Z_{MA}$ ) ТХР за 34-летний период показывают превосходство  $Z_{VA}$  для ППП №1 на 33, 57 и 104% относительно ТХР Г.М. Буховец, С.И. Козьякова, Е.С. Мурахтанова соответственно и занижение на 19% относительно ТХР Т. Böckmann. Для второго древоостоя наблюдается занижение на 54 и 12% по ТХР Т. Böckmann и Г.М. Буховец, а по ТХР С.И. Козьякова и Е.С. Мурахтанова – превышение на 27 и 39% соответственно. Следовательно, для исследованных древоостоев минимальные отклонения наблюдаются по сравнению с данными ТХР Г.М. Буховец. Можно предположить, что причинами отклонений являются, во-первых, изменение роста исследованных липняков на фоне климатических изменений, а во-вторых, недостатки таблиц хода роста, которые неадекватно описывают прирост после 80 лет. Например, на рис. 1 по данным ТХР С.И. Козьякова в сравнении с другими ТХР наглядно видно резкое снижение прироста после 80 лет практически до нулевых отметок к 100 годам.

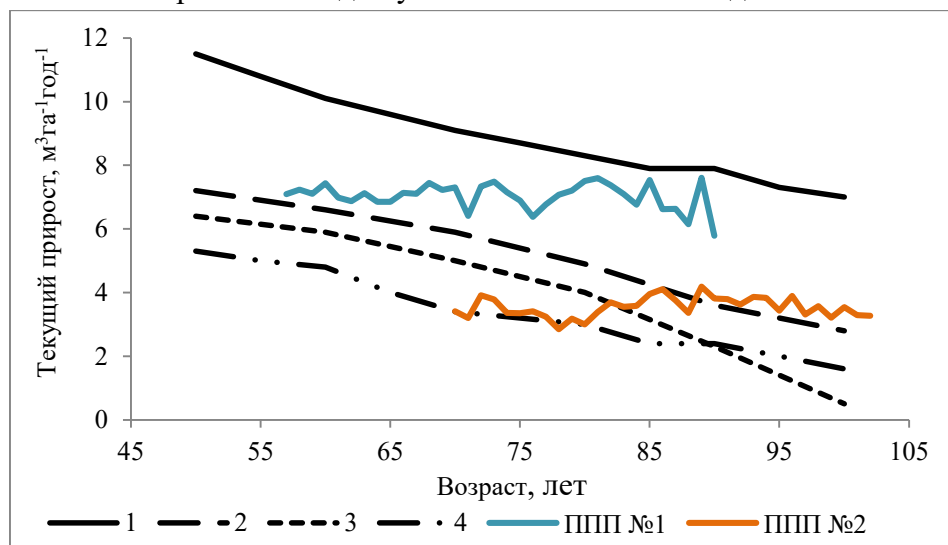
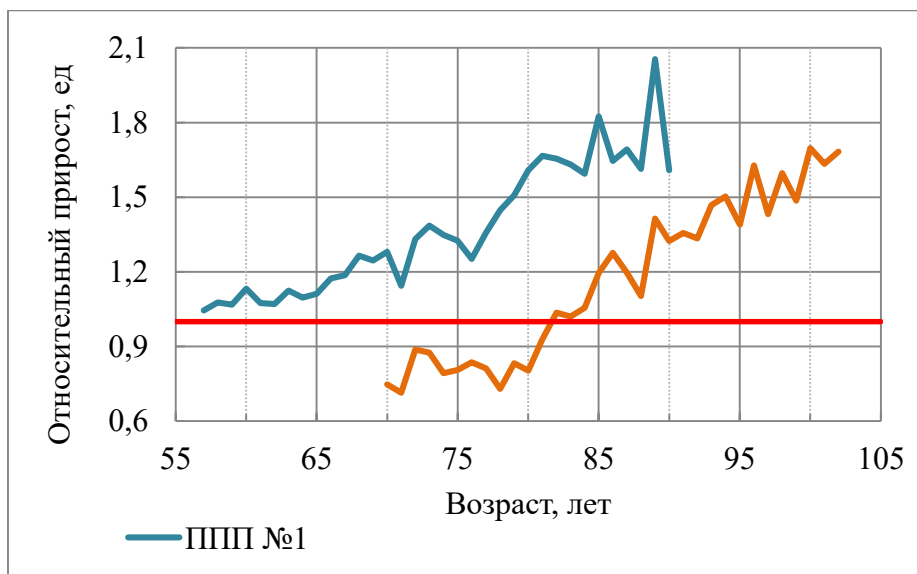


Рис. 1. Динамика реконструированного годового прироста запаса древоостоев липы (ППП №1 и №2) в период 1990-2023 гг. по сравнению с данными таблиц хода роста Т. Böckmann (1), Г.М. Буховец (2), С.И. Козьякова (3), Е.С. Мурахтанова (4)

Несмотря на возраст древоостоев и значительное варьирование  $Z_{VA}$  по годам, наблюдается его тенденция к увеличению. Это наглядно демонстрирует рис. 2, где представлена динамика относительного прироста ППП в сравнении с данными ТХР Г.М. Буховец (красная линия 1,0 представлена в качестве ориентира). Относительный прирост в течение рассматриваемого 32-летнего периода увеличивался в среднем на 42% и 27% (59% при приведении к нормальной полноте) в год по сравнению с уровнем прироста этой ТХР для ППП №1 и 2 соответственно. Такое увеличение текущего прироста, по сравнению с уровнем ТХР второй половины прошлого века, свидетельствует об изменении условий роста и, следовательно, потенциала

для увеличения использования древесины и изменения времени оборота рубки (Pretzsch et al., 2020).



**Рис. 2.** Динамика относительного реконструированного текущего прироста запаса древостоев липы (ППП №1 и №2) в период 1990–2022 гг. по сравнению с данными таблиц хода роста Г.М. Буховец (красная линия 1,0)

Анализ климатических данных за период с 1930 по 2023 гг. (Погода и климат) показал значительное варьирование, как среднегодовой температуры воздуха от  $-0,4^{\circ}\text{C}$  в 1969 г. до  $5,5^{\circ}\text{C}$  в 2023 г., так и суммы годовых осадков от 375 мм (1944 г.) до 856 мм (1956 г.). За этот период среднегодовая температура воздуха увеличилась на  $2,0^{\circ}\text{C}$ , а сумма годовых осадков – на 13,6%. При этом за вегетационный период количество осадков в среднем уменьшилось на 4%. Таким образом, можно предположить, что увеличение текущего прироста исследованных древостоев липы в течение рассматриваемого периода времени, в том числе, обусловлено изменениями климата. По данным Кузнецовой Р. С. и Костиной Н. В. (2010), климатический фактор влияет на прирост липы, что наиболее существенное влияние оказывают сумма осадков за май, июнь и июль и среднемесячные температуры июня.

Произведенный по данным кернов анализ тенденций текущего прироста не выявил четких различий в реакции прироста на эпизодический стресс от засухи. В 1998 г. прирост на ППП №1 остался на уровне предыдущего года ( $6,85 \text{ м}^3/\text{га}$  в год), а в 2010 г. даже повысился до  $6,77 \text{ м}^3/\text{га}$  в год с  $6,38$  в 2009 г. Для ППП №2 в эти годы наблюдается его четкое снижение ( $2,85$  и  $3,81 \text{ м}^3/\text{га}$  в год соответственно в 1998 и 2010 гг.). В 2021 г. обе ППП продемонстрировали снижение текущего прироста ( $6,63$  и  $3,29 \text{ м}^3/\text{га}$  в год соответственно).

Корреляционный анализ (ранговая корреляция Спирмена) не показал значимой зависимости текущего прироста от SPI. На проблемы выявления связи между приростом древостоя липы и климатом, несмотря на отчетливые стрессовые реакции от засухи, указали и другие исследователи (Frech, 2006). Все это подчеркивает сложность процесса формирования текущего прироста древостоев. Помимо почвенно-климатических факторов, на текущий прирост древостоев могут влиять дополнительные факторы: внутренние причины стратегии жизненного поведения деревьев (Демаков и др., 2014), асинхронная стрессовая реакция разных по размерам деревьев, образующих древостой (Pretzsch et al., 2018), дефолиация, вызванная энтомовердителями, обильное плодоношение, поздние весенние

заморозки или холодные годы в период вегетации (Schwarz et al., 2020). Кроме этого, некоторые виды иногда демонстрируют снижение роста и/или только в последующие годы после фактической (летней) засухи – отсроченная реакция на засуху (Granier et al., 2007; Meinardus et al., 2011).

### Выводы

Увеличение текущего прироста исследованных древостоев липы по сравнению с уровнями местных таблиц хода роста свидетельствует об изменении условий роста и увеличении потенциала их использования. В условиях изменения климата стрессовые реакции липняков на засухи могут быть более выраженными. Все это подчеркивает необходимость дальнейших исследований в этой области, чтобы скорректировать или составить новые региональные таблицы хода роста и оценить адаптационные возможности древостоев липы мелколистной.

**Материалы, представленные в статье, получены в рамках реализации программы развития ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».**

### Библиографический список

1. Авла А.Х., Алексеев А.С. Оценка потенциала роста лесов в Иракском Курдистане на основе анализа метеоклиматических данных // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. № 249. С. 38-54. DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2024.249.38-54>
2. Буховец Г.М. Рост и продуктивность липовых насаждений Татарской АССР: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Воронеж. 1965. 22 с.
3. Демаков Ю.П., Андреев Н.В. Закономерности радиального прироста деревьев сосны в приозерных биотопах национального парка «Марий Чодра» // Эко-потенциал. 2014. № 3(7). С. 48–58. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3550>
4. Иванов В.П., Марченко С.И., Нартов Д.И., Балухта Л.П. Радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) при ингибировании // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 1. С. 69-81. DOI: <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-1-69-81>
5. Козьяков С.И. Ход роста липовых насаждений по типам леса Башкирской АССР // Труды Башкирского сельскохозяйственного института. 1963. Т. 11. Ч. 1. С. 64–67.
6. Кузнецова Р.С., Костина Н.В. Оценка влияния климатических факторов на прирост липы // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 12, №1(3), 2010. С. 730-733.
7. Мурахтанов Е.С. Основы организации комплексного хозяйства в липняках Средней Волги. Л.: Изд-во ЛГУ, 1972. 302 с.
8. Погода и климат. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/28722.htm>
9. Сортиментные и товарные таблицы для равнинных лесов Урала / П.М. Верхунов, В.Л. Черных, И.П. Курненко, Н.Н. Попова. М.: ВНИИЛМ, 2002. 488 с. URL: <https://www.st-book.ru/>
10. Aldea J., Dahlgren J., Holmström E., Löf M. Current and future drought vulnerability for three dominant boreal tree species // Global Change Biology. 2023. 30(1). <https://doi.org/10.1111/gcb.17079>.
11. Barniak, Joanna & Wilczyński, Sławomir & Krapiec, Marek. Dendrochronologia lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.) z południowej Polski. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie*. 2014. 16. 40(3). 74-80.
12. Böckmann T. Ertragstafel für Winterlinde (*Tilia cordata* Mill.) in Niedersachsen und Nordhessen // Allg. Forst-Jagdztg. 1991. 162. pp. 28-34.
13. Bösch, B. Neue Bonitierungs- und Zuwachshilfen. In: Freiburger Forstliche Forschung, Band 18, 12. Wissenstransfer in Praxis und Gesellschaft, FVA-Forschungstage. 2001. pp. 266–276. URL: <https://www.yumpu.com/de/document/view/5283828/neue-bonitierungs-und-zuwachshilfen-waldwissen-net>
14. De Jaegere T., Hein S., Claessens H. A Review of the Characteristics of Small-Leaved Lime (*Tilia cordata* Mill.) and Their Implications for Silviculture in a Changing Climate // *Forests*. 2016. №7(3). p. 56. <https://doi.org/10.3390/f7030056>
15. Fischer C., Sprauer S., Schmidt M., Nagel J., Spellmann H. Veränderung des Waldwachstums. In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.), Waldzustandsbericht 2018 für Hessen. 2018. pp. 40–42.
16. Frech A. Walddynamik in Mischwäldern des Nationalparks Hainich. Untersuchung der Mechanismen und Prognose der Waldentwicklung. Dissertation. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme. (Reihe A).

- Band 196. Georg-August-Universität Göttingen Forschungszentrum Waldökosysteme, 2006. 120 p. URL: <https://d-nb.info/982405766/34>
17. Granier A., Reichstein M., Bréda N., Janssens I.A., Falge E., Ciais P. et al. Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003 // *Agric For Meteorol.* 2007. Vol. 143, Is. 1-2. pp. 123–145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.12.004>.
  18. Grissino-Mayer, H.D. Computer assisted, independent observer verification of tree-ring measurements // *Tree-Ring Bulletin.* 1997. №54. pp. 29-41. – URL: <http://hdl.handle.net/10150/262380>
  19. Hartmann, H., Bastos, A., Das, A.J., Esquivel-Muelbert, A., Hammond, W.M., Martínez-Vilalta, J., McDowell, N.G., Powers, J.S., Pugh, T.A. M., Ruthrof, K.X., Allen, C.D., Allen, C.D. Climate change risks to global forest health: Emergence of unexpected events of elevated tree mortality worldwide // *Annual Review of Plant Biology.* 2022. №73. pp. 673–702. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102820-012804>
  20. Hemery G.E., Clark J.R., Aldinger E., Claessens H., Malvolti M.E. et al. Growing scattered broadleaved tree species in Europe in a changing climate: a review of risks and opportunities // *Forestry: An Int. J. of Forest Research.* 2010. № 83(1). pp. 65–81. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpp034>
  21. Heym M., Bielak K., Wellhausen K., Uhl E., Biber P. et al. A New Method to Reconstruct Recent Tree and Stand Attributes of Temporary Research Plots: New Opportunity to Analyse Mixed Forest Stands // *IntechOpen.* 2018. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.79682>
  22. Latte N., Taverniers P., de Jaegere T., Claessens H. Dendroecological assessment of climate resilience of the rare and scattered forest tree species *Tilia cordata* Mill. in northwestern Europe // *Forestry: An Int. J. of Forest Research.* 2020. № 93(5). pp. 675–684. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa011>
  23. Meinardus C., Bräuning A. Zur Trockenstresstoleranz von Eichen und Buchen // *LWF Aktuell.* 2011. № 85. pp. 9–11. URL: <http://www.lwf.bayern.de/boden-klima/baumartenwahl/015271/index.php>
  24. Pretzsch H., Ammer C., Wolff B., Steckel M., Rukh S., Heym M. Zuwachsniveau, Wachstumstrend und episodische Zuwachseinbrüche. Ein zusammenfassendes Bild vom aktuellen Zuwachsgang in Rein- und Mischbeständen aus Fichte, Kiefer, Buche und Eiche // *Allgemeine Forst und Jagdzeitung.* 2020. № 191. pp. 1–21. DOI: <https://doi.org/10.23765/afjz0002055>.
  25. Pretzsch H., Biber P., Schütze G., Bielak K. Changes of forest stand dynamics in Europe. Facts from long-term observational plots and their relevance for forest ecology and management // *Forest Ecology and Management.* 2014a. № 316. Pp.65–77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.050>.
  26. Pretzsch H., Biber P., Schütze G., et al. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870 // *Nat. Commun.* 2014b. № 5. p. 4967. <https://doi.org/10.1038/ncomms5967>
  27. Pretzsch H., del Río M., Arcangeli C. et al. Forest growth in Europe shows diverging large regional trends. 2023 // *Sci Rep.* № 13, 15373. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41077-6>
  28. Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Kemmerer, J. and Uhl, E.: Wood density reduced while wood volume growth accelerated in Central European forests since 1870 // *Forest Ecology and Management.* 2018. № 429 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.045>
  29. Schwarz, J., Skiadaresis, G., Kohler, M. et al. Quantifying Growth Responses of Trees to Drought—a Critique of Commonly Used Resilience Indices and Recommendations for Future Studies // *Curr Forestry Rep.* 2020. № 6. pp. 185–200. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00119-2>
  30. Staupendahl K., Schmidt M. Kalibrierung der Ertragstafeln für die Hauptbaumarten in Hessen mithilfe der Daten der Bundeswaldinventur // *Allgemeine Forst und Jagdzeitung.* 2016. № 187. pp. 197-216.
  31. World Meteorological Organization, 2012. Standardized Precipitation Index User Guide (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood). (WMO-No. 1090), Geneva. 16 p.

### References

1. Awla A.H., Alekseev A.S. Otsenka potentsiala rosta lesov v Irakskom Kurdistane na osnove analiza meteoklimaticheskikh dannyykh (Assessment of the forests growth potential in Iraqi Kurdistan based on the analysis of hydro meteorological data). *Izvestia Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2024. No. 249. pp. 38-54. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2024.249.38-54>
2. Bukhovets G.M. Rost i produktivnost' lipovykh nasazhdenii Tatarskoi ASSR: *Synopsis of PhD (agri.- sci.) thesis.* (Growth and productivity of linden plantations in the Tatar ASSR. *Cand. agri. sci. thesis*) Voronezh. 1965. 22 p. (In Russ.)
3. Demakov Yu. P., Andreev N. V. Zakonomernosti radial'nogo prirosta derev'ev sosny v priozernykh biotopakh natsional'nogo parka «Marii Chodra» (Patterns of radial growth of pine trees in lakeside biotopes of the «Marii Chodra» National Park). *Eko-potentsial*, 2014. No. 3(7). pp. 48–58. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3550>. (In Russ.)
4. Ivanov V.P., Marchenko S.I., Nartov D.I., Balukhta L.P. Radial'nyi prirost sosny obyknovЕННОI (Pinus sylvestris L.) pri ingibirovanii (Radial Growth of Scots Pine (Pinus sylvestris L.) under Inhibition). *Lesnoy Zhurnal*, 2021, No. 1, pp. 69–81. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-1-69-81>. (In Russ.)

5. Koz'yakov S.I. Khod rosta lipovykh nasazhdenii po tipam lesa Bashkirskoi ASSR (The growth rate of linden plantations by forest types in the Bashkir ASSR). *Trudy Bashkirskogo sel'skokhozyaistvennogo instituta*, 1963. No. 11(1). pp. 64–67. (In Russ.)
6. Kuznetsova R.S., Kostina N.V. Otsenka vliyaniya klimaticheskikh faktorov na prirost lipy (Evaluation of the influence of climatic factors on the growth of linden). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2010. Vol. 12, No. 1(3). pp. 730–733. (In Russ.)
7. Murakhtanov E.S. Osnovy organizatsii kompleksnogo khozyaistva v lipnyakakh Srednei Volgi (Fundamentals of the organization of complex economy in the linden forests of the Middle Volga). Leningrad, Izd-vo LGU, 1972, 302 p. (In Russ.)
8. Pogoda i klimat (Weather and climate). – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/28722.htm>
9. Sortimentnye i tovarnye tablitsy dlya ravninnykh lesov Urala (Assortment and commodity tables for the Ural lowland forests). P.M. Verkhunov, V.L. Chernykh, I.P. Kurnenkova, N.N. Popova. M., VNIILM, 2002, 488 p. URL: <https://www.st-book.ru/>. (In Russ.)
10. Aldea J., Dahlgren J., Holmström E., Löf M. Current and future drought vulnerability for three dominant boreal tree species. *Global Change Biology*. 2023. 30(1). <https://doi.org/10.1111/gcb.17079>.
11. Barniak, Joanna & Wilczyński, Sławomir & Krapiec, Marek. Dendrochronologia lipy drobnolistnej (*Tilia cordata* Mill.) z południowej Polski. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej w Rogowie*. 2014. 16. 40(3). pp. 74–80.
12. Böckmann T. Ertragstafel für Winterlinde (*Tilia cordata* Mill.) in Niedersachsen und Nordhessen. *Allg. Forst-Jagdztg*. 1991. No. 162. pp. 28–34.
13. Bösch, B. Neue Bonitierungs- und Zuwachshilfen. In: Freiburger Forstliche Forschung, Band 18, 12. Wissenstransfer in Praxis und Gesellschaft, FVA-Forschungstage. 2001. pp. 266–276. URL: <https://www.yumpu.com/de/document/view/5283828/neue-bonitierungs-und-zuwachshilfen-waldwissen-net>
14. De Jaegere T, Hein S, Claessens H. A Review of the Characteristics of Small-Leaved Lime (*Tilia cordata* Mill.) and Their Implications for Silviculture in a Changing Climate. *Forests*. 2016. No. 7(3). pp. 56. <https://doi.org/10.3390/f7030056>
15. Fischer C., Sprauer S., Schmidt M., Nagel J., Spellmann H. Veränderung des Waldwachstums. In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.), Waldzustandsbericht 2018 für Hessen. 2018. pp. 40–42.
16. Frech A. Walddynamik in Mischwäldern des Nationalparks Hainich. Untersuchung der Mechanismen und Prognose der Waldentwicklung. Dissertation. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme. (Reihe A). Band 196. Georg-August-Universität Göttingen Forschungszentrum Waldökosysteme, 2006. 120 p. URL: <https://d-nb.info/982405766/34>
17. Granier A, Reichstein M, Bréda N, Janssens IA, Falge E, Ciais P, et al. Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003. *Agric For Meteorol*. 2007, Vol. 143, Is. 1–2, pp. 123–145. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.12.004>.
18. Grissino-Mayer, H.D. 1997. Computer assisted, independent observer verification of tree-ring measurements. *Tree-Ring Bulletin*. No. 54. pp. 29–41. – URL: <http://hdl.handle.net/10150/262380>
19. Hartmann, H., Bastos, A., Das, A. J., Esquivel-Muelbert, A., Hammond, W. M., Martínez-Vilalta, J., McDowell, N. G., Powers, J. S., Pugh, T. A. M., Ruthrof, K. X., Allen, C. D., & Allen, C. D. (2022). Climate change risks to global forest health: Emergence of unexpected events of elevated tree mortality worldwide. *Annual Review of Plant Biology*. No. 73. pp. 673–702. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102820-012804>
20. Hemery G.E., Clark J.R., Aldinger E., Claessens H., Malvoti M.E., et al. Growing scattered broadleaved tree species in Europe in a changing climate: a review of risks and opportunities. *Forestry: An Int. J. of Forest Research*. 2010. No. 83(1). pp. 65–81. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpp034>
21. Heym M., Bielak K., Wellhausen K., Uhl E., Biber P., et al. A New Method to Reconstruct Recent Tree and Stand Attributes of Temporary Research Plots: New Opportunity to Analyse Mixed Forest Stands. *IntechOpen*. 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79682>
22. Latte N., Taverniers P., de Jaegere T., Claessens H. Dendroecological assessment of climate resilience of the rare and scattered forest tree species *Tilia cordata* Mill. in northwestern Europe. *Forestry: An Int. J. of Forest Research*. 2020. No. 93(5). pp. 675–684. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa011>
23. Meinardus C., Bräuning A. Zur Trockenstresstoleranz von Eichen und Buchen. *LWF Aktuell*. 2011. No. 85. pp. 9–11. – URL: <http://www.lwf.bayern.de/boden-klima/baumartenwahl/015271/index.php>
24. Pretzsch H., Ammer C., Wolff B., Steckel M., Rukh S., Heym M. Zuwachsniveau, Zuwachstrend und episodische Zuwachseinbrüche. Ein zusammenfassendes Bild vom aktuellen Zuwachsgang in Rein- und Mischbeständen aus Fichte, Kiefer, Buche und Eiche. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*. 2020. No. 191. pp. 1–21. <https://doi.org/10.23765/afjz0002055>.

25. Pretzsch H., Biber P., Schütze G., Bielak K. Changes of forest stand dynamics in Europe. Facts from long-term observational plots and their relevance for forest ecology and management. *Forest Ecology and Management*. 2014a. No. 316. pp. 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.050>.
26. Pretzsch H., Biber P., Schütze G., et al. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nat. Commun.* 2014b. No. 5. 4967. <https://doi.org/10.1038/ncomms5967>
27. Pretzsch H., del Río M., Arcangeli C. et al. Forest growth in Europe shows diverging large regional trends. 2023. *Sci Rep.* No. 13, 15373. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41077-6>
28. Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Kemmerer, J. and Uhl, E.: Wood density reduced while wood volume growth accelerated in Central European forests since 1870. *Forest Ecology and Management*. 2018. 429 p. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.045>
29. Schwarz, J., Skiadaresis, G., Kohler, M. et al. Quantifying Growth Responses of Trees to Drought—a Critique of Commonly Used Resilience Indices and Recommendations for Future Studies. *Curr Forestry Rep.* 2020. No. 6. pp. 185–200 <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00119-2>
30. Staupendahl K., Schmidt M. Kalibrierung der Ertragstafeln für die Hauptbaumarten in Hessen mithilfe der Daten der Bundeswaldinventur. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*. 2016. No. 187. pp. 197-216.
31. World Meteorological Organization, 2012. Standardized Precipitation Index User Guide (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood). (WMO-No. 1090), Geneva. 16 p.