

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЕРТИЗЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Москва — 1972

Канд. с.-х. наук
Т. Т. БИТВИНСКАЯ
(Ин-т ботаники АН Литов. ССР)

ВЫЧИСЛЕНИЕ СРЕДНИХ ВЕЛИЧИН ШИРИНЫ ГОДИЧНЫХ СЛОЕВ И МЕТОДИКА УЧЕТА И ИСКЛЮЧЕНИЯ ФАКТОРА ВОЗРАСТА В ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ И ДЕНДРОКЛИМАТОЛОГИИ

В дендрохронологических и дендроклиматологических исследованиях для исключения фактора возраста, выявления влияния климатических факторов и приведения дендрохронологических данных в сопоставимые величины наиболее часто применяются:

- а) стандартные линии (А. Дуглас);
- б) алгебраические расчеты линейных и нелинейных зависимостей между радиальным приростом и возрастом (А. Ординг, Т. Руден, П. Эйдем, М. Неслунд, Б. Эклунд);
- в) методы скользящих средних (С. Анштад, А. Ординг, Т. Руден; в СССР В. Рудаков);
- г) метод скелетного анализа изменения годичных колец (В. Глок);
- д) метод полулогарифмических графиков для выравнивания влияния фактора возраста (Б. Хубер; в СССР Б. Колчин, М. Розанов).

В дендроклиматологии не существует какого-либо универсального метода или «рецепта». Рассмотрим некоторые приемы, используемые для выявления изменений радиального прироста деревьев и насаждений, зависящих от возраста, и дальнейшего исключения фактора возраста при расчетах относительных величин — индексов годичных колец.

А. Дуглас [13] и его ученики широко используют метод стандартных линий, заключающийся в том, что погоди́чное изменение ширины слоев выражается прямой линией. При этом первые 20—30, а иногда и больше годичных слоев обычно не подчиняются линейной зависимости, но в тех случаях, когда аппроксимируется радиальный прирост деревьев, возраст которых 300—2000 лет, применение этого метода оправдывает себя.

Более объективно направление «возрастной» линии можно определить методом наименьших квадратов:

$$y = a + bx, \quad (1)$$

где: y — ширина годичного слоя; x — календарный год кольца [4].

Следует заметить, что можно либо аппроксимировать данные замеров ширины годичных колец в зависимости от возраста каждого дерева в отдельности, либо рассчитать среднюю ширину годичного слоя (i_{cp}) целого насаждения и потом ее аппроксимировать. Чтобы определить величину средних годичных слоев насаждения, погодишную ширину слоев (i) всех учтенных деревьев суммируют по каждому кольцу и сумму делят на число образцов (n):

$$i = \sum i_j / n. \quad (2)$$

Если в исследуемом насаждении находятся деревья разных возрастных групп, средние многолетние кривые радиального прироста, следует рассчитать отдельно по каждой группе.

Так называемый скелетный график В. Глока является наиболее примитивным методом анализа годичных колец. Он заключается в том, что исследователь визуально определяет ширину годичных колец и отмечает угнетенные кольца на миллиметровой бумаге (1 кольцо равно 1 делению). Метод применяется при исследовании деревьев, произрастающих в полупустынях и пустынях [12].

Шведские дендроклиматологи предложили рассчитывать средние многолетние кривые радиального прироста (некоторыми исследователями называемые кривыми большого роста или биокривыми) как простые функции гиперболы по методу наименьших квадратов. При этом М. Неслунд [13] рекомендовал не учитывать годичные слои, расположенные менее чем в 2 см от сердцевины ствола.

Если y — ширина годичного кольца, x — число годичных колец, отстоящих от сердцевины более чем на 2 см, a , b — постоянные, то функция возрастной биокривой М. Неслунда приобретает следующий вид:

$$y = a + \frac{b}{x}, \quad (3)$$

а функция В. Эклунда [15]:

$$\frac{1}{y} = a + bx. \quad (4)$$

Автор [1, 2] при исследовании изменения радиального прироста сосны в зависимости от возраста (в пределах Литовской ССР) использовал формулу М. Неслунда, несколько изменив ее: x — в нашем случае не число годичных слоев, а возраст исследуемых насаждений. В результате исследований был получен ряд зависимостей.

Дубравская лесная опытная станция:

условия местопроизрастания — C_2 , тип леса — сосняк чернично-кисличный, бонитет I, $y = \frac{248,4}{x} + 2,72. \quad (5)$

Зарасайский лесхоз, лесничество Гражутес:

условия произрастания — B_2 , тип леса — сосняк чернично-брусничный, бонитет II, $y = \frac{169,5}{x} + 2,77. \quad (6)$

Варенский лесхоз, лесничество Глуко:

условия местопроизрастания — A_2 — B_2 , тип леса — сосняк бруснично-беломошниковый, бонитет III,

$$y = \frac{147}{x} + 1,98. \quad (7)$$

Каунасский лесхоз, Курасское лесничество:

условия местопроизрастания — A_5 , тип леса — сосняк сфагновый, бонитет V_a , $y = \frac{95,7}{x} + 0,81. \quad (8)$

Указанные закономерности характеризуют изменения прироста в зависимости от возраста только в чистых одно-возрастных насаждениях. Если разница в возрасте деревьев составляет 1—2 и более десятилетия, такой строгой зависимости не наблюдается. У перестойных деревьев средние многолетние радиального прироста насаждений мало изменяются.

Для подсчета данных радиального прироста по кривой М. Неслунда автор не принимал в расчет 10 самых близких к сердцевине годичных колец (для насаждений низких бонитетов — первые 20 годичных колец). Гиперболическая изменчивость радиального прироста насаждений имеет большое значение в дендрохронологических и дендроклиматологических исследованиях, поскольку может быть применена в виде шаблона радиального прироста и исключения фактора возраста.

В дендроклиматологии для аппроксимации возрастных кривых радиального прироста широко применяются скользящие средние. Впервые скользящие средние были применены С. Анштадом (1938 г.) для выявления изменения годичных слоев сосны в зависимости от возраста и последующего их использования для корректирования и стандартизации серий годичных колец [11] в дендрохронологических целях. А. Ординг [20] и Т. Руден [22] использовали скользящие средние в дендроклиматологических исследованиях. Т. Руден, отмечая положительные стороны метода скользя-

ших, в то же время подчеркивал некоторые их отрицательные моменты, в первую очередь «эффект Случского», не позволяющий использовать обработанные таким образом дендрохронологические данные для исследования ритмичности — периодичности радиального прироста¹.

При расчете биологической кривой возраста методом скользящих средних остаются нерассчитанными концы кривой: при использовании 3-летних скользящих — за один год, 11-летних — за 5 лет, 21-летних — за 10 лет, 31-летних — за 15 лет. Если началом ряда — годовыми кольцами, находящимися вблизи сердцевины, иногда целесообразно пренебречь, то данные о последних (внешних) годовых кольцах почти всегда очень ценны. Поэтому средние многолетние кривые приходится аппроксимировать, учитывая общее направление кривых за последние 10—20 лет, или для продолжения кривой использовать стандартные кривые — эталоны изменчивости годовых колец в зависимости от возраста, полученные с помощью других математических методов.

Основываясь на результатах опытов, мы пришли к выводу, что наиболее объективно зависимость радиального прироста от возраста у сосны обыкновенной, ольхи черной, ели обыкновенной и других пород, растущих в средней полосе европейской части СССР, отображается 20—21-летними скользящими средними. Расчет многолетних средних радиальных приростов по 5-ти, 10-ти и 15-летним скользящим, как правило, не дает удовлетворительных результатов, поскольку они в достаточной мере не выравнивают изменений, происходящих в ширине годовых слоев насаждений под влиянием комплексов климатических факторов.

В северных областях СССР 21-летние скользящие также недостаточно выравнивают биологические кривые [7, 9], поэтому в этих случаях необходимо либо использовать более длинные периоды, либо вовсе отказаться от этого метода.

Применять скользящие средние с шагом в один год [8, 11] целесообразно тогда, когда дендроклиматологические данные обрабатываются счетно-клавишными машинами типа «Соэктрон», «Быстрица». Если же таких машин нет, можно использовать способ 20-летних скользящих с шагом в 5 лет с последующим графическим пахождением средней многолетней для каждого года.

¹ После обработки данных методом скользящих средних периодичность колебаний становится близкой к длине примененной скользящей (шагу сглаживания).

Серия данных ширины годовых слоев распределяется и суммируется по пятилетиям. Соседние пятилетия методом скользящих средних суммируются по десятилетиям, а десятилетние данные — по двадцатилетиям. Данные за двадцатилетие вписываются между 10 и 11-, 15 и 16-, 20 и 21-годовыми слоями и так далее. Разделив сумму на двадцать, получаем среднюю ширину годовых слоев для этих лет. Нанеся полученные значения на миллиметровую бумагу и соединив отложенные точки прямыми, получаем среднюю ширину годовых слоев (см. табл. I).

Анализируя погодичную динамику продуктивности древостоев, можно определить ежегодное накопление биомассы стволов не по ширине годового слоя, а по площади сечения годовых слоев деревьев [3]. Это, бесспорно, более совершенный способ определения закономерностей колебаний годовых колец, он достаточно объективно отражает закономерности изменения крайних и внутренних годовых колец в стволах деревьев, однако при этом резко возрастает объем работы.

В настоящее время разрабатываются математические методы расчета средних многолетних радиального прироста на электронно-вычислительных машинах. Примером может служить машинная программа Г. Фритса, Д. Мосимана и К. Богторф [17], позволяющая с помощью приводимой ниже формулы построить кривую при различных коэффициентах:

$$y = \frac{-bx}{ae} + k, \quad (9)$$

где y — ширина годового слоя в определенном году;

x — изменчивость чисел годовых слоев от 1 до n (n — наибольшее число имеющихся годовых слоев изучаемой серии);

a и b — вычисляемые для каждой серии константы;

e — предел целочисленной функции U_n , т. е. число 2,71828...;

k — свободный член функции, определяющий ее нижний предел.

Используя эту формулу, можно более объективно, чем по формуле 3, отображать зависимость изменения годовых колец от возраста.

В дендрохронологии для изображения относительного изменения ширины годовых колец успешно применяются полулогарифмические графики, впервые предложенные Б. Хубером [18]. Ценность полулогарифмического графика состоит в том, что он передает индивидуальную информацию, содержащуюся в кривой роста. При использовании других методов

индивидуальный характер кривой сохраняется в меньшей степени, особенно при сглаживании с большим шагом. Построить такой график очень просто. По оси абсцисс слева направо наносятся годы, а по оси ординат — значения логарифмов ширины годичных колец (один миллиметр годичного слоя соответствует единице логарифмического числа). Так как годичные слои, ширина которых меньше 1,0 мм, выделяются на графике сильнее, чем широкие годичные слои, то угнетенные кольца оказываются более выражены, чем широкие, «притупленные» кольца. Сопоставление, как правило, проводится по узким, угнетенным кольцам.

Однако для климатологических целей целесообразнее использовать методы, основанные на вычислении средних. Лишь в первых дендроклиматологических исследованиях, особенно в Скандинавских странах, изменение годичных колец в зависимости от климатических факторов часто выражалось абсолютными величинами (миллиметрами годичного прироста). С. Эрландсон [16] долю прироста, обусловленную климатическими факторами, рассчитывал по формуле:

$$A = \frac{a}{b} \cdot M, \quad (10)$$

где: A — величина годичного прироста отдельной возрастной группы деревьев за определенный календарный год, обусловленная климатическими факторами, в мм;

a — фактическая величина среднего годичного прироста возрастной группы деревьев, в мм;

b — норма годичного прироста возрастной группы деревьев, в мм;

M — базисная поправка для приведения величины A различных возрастных групп деревьев к сопоставимым размерам.

Г. Комин [7] отмечает, что метод С. Эрландсона обладает одним существенным недостатком: при расчете нормы прироста по отдельным возрастным группам для годичных колец одного и того же календарного года получаются различные значения, причем базисная поправка, рассчитываемая для всего периода наблюдений, не устраняет его. В действительности же доля прироста, обусловленная колебаниями климатических факторов в определенные календарные годы, в разных возрастных группах деревьев неодинакова (наблюдаются отклонения в положительную и отрицательную стороны).

С. Ахтала [11] проводил коррекцию и стандартизацию ширины годичных колец. За стандартный уровень был принят 1 мм. Каждый годичный слой корректировался к этому уровню. Коэффициент поправки находился по рассчитанной методом скользящих возрастной кривой.

Расчет средней двадцатилетней кривой

Год	Индекс кольца	Сумма индексов колец за			Среднее ее значение за 20 лет	Интерполи- рованные данные
		5 лет	10 лет	20 лет		
1914	514	2612				
1915	494					
1916	574					
1917	487					
1918	543					
			5177		518	
1919	577	2565				500
1920	567					465
1921	506					443
1922	460					403
1923	455					383
			4087	7747		
1924	364	1522				361
1925	355					348
1926	281					337
1927	295					325
1928	227					313
			3570	6130	306	
1929	226	1048				297
1930	216					277
1931	188					256
1932	193					236
1933	225					216
			2043	4110	205	
1934	212	995				202
1935	192					194
1936	183					187
1937	156					178
1938	152					172
			1540	3377	168	

Варенский лесхоз, лесничество Глуко Литовской ССР, пробная

Таблица 1

радиального прироста по скользящим пятилетиям

Год	Индекс кольца	Сумма индексов колец за			Среднее ее значение за 20 лет	Интерполи- рованные данные
		5 лет	10 лет	20 лет		
1939	129	545				164
1940	89					160
1941	99					156
1942	100					152
1943	128					148
			1334	2891	146	
1944	128	789				145
1945	174					144
1946	177					143
1947	160					142
1948	150					140
			1351	2384	133	
1949	128	562				139
1950	142					138
1951	114					137
1952	89					135
1953	89					134
			1030	2398		
1954	85	488				133
1955	95					132
1956	90					130
1957	108					129
1958	110					128
			1047			
1959	128	350				127
1960	107					126
1961	115					125

площадь 129, средняя из 54 учетных деревьев.

П. Эйдем [14] выразил ширину годовых колец не в абсолютных, а в относительных величинах. Для этого было определено отношение действительной ширины годовых колец к ширине средней возрастной кривой. Так были получены индексы годовых колец — относительные величины, почти независимые от возраста и отражающие главным образом изменения климатических факторов. Метод индексов годовых колец (индексов радиального прироста) получил довольно широкое распространение в европейских странах.

В Советском Союзе данный метод был применен В. Рудаковым [8], который при этом изменил его прежнее название — вместо «индексы годовых слоев» стал употреблять термин «модульный коэффициент годового прироста». Им также рекомендовалось для вычисления скользящего среднего прироста брать такой период, при котором скользящие средние кривые получаются наиболее плавными.

Необходимо отметить необоснованность изменения названия метода. Известно, что термин «индекс» вполне сложившееся понятие, широко распространенное в климатологии (индекс аридности, индекс влажности, индекс континентальности, индексы солнечной активности и т. д.) и четко выражающее изменчивость определенных природных явлений в относительных величинах в широком диапазоне. В то же время под термином «коэффициент» (модуль) в математике обычно понимается постоянная или известная величина, являющаяся множителем другой величины, обычно переменной или неизвестной. Формула В. Рудакова:

$$G = \frac{i \cdot 100}{i_{cp}}, \quad (11)$$

где: G — модульный коэффициент в процентах;

i — ширина годового кольца¹;

i_{cp} — средняя ширина годового слоя, выражающая его изменения в зависимости от возраста любым математическим способом, в том числе и методом скользящих.

Справедливости ради следует сказать, что идея использования относительных величин — годовых индексов — принадлежит не В. Рудакову, а «прапрадеду» дендроклиматологии А. Покорни, предложившему на заседании секции ботаников и физиологов растений в Инсбруке еще в 1869 г. [21] десятилетние средние радиального прироста, интерполированные по годам, сопоставлять с действительной шири-

¹ Обозначение ширины годового кольца буквой « i » принято в лесной таксации.

ной годичных слоев для определения степени влияния на них метеорологических факторов.

Автор согласен с высказанным в литературе мнением [8], что метод относительных величин радиального текущего прироста до сих пор является наиболее удобным при определении изменения ширины годичных колец в зависимости от климатических факторов в тех случаях, когда:

а) исследуемые деревья (насаждения) действительно четко реагируют на эти факторы;

б) имеется достаточно длинный ряд данных, позволяющий четко определить и исключить лишние факторы (возраст и т. д.);

в) периоды основных ритмов годичных колец не очень длинные (не превышают 11—22 лет), то есть когда путем скользящего можно получить плавные возрастные кривые.

Рассмотренный метод имеет существенные недостатки. Г. Комин [7] указывает, что при помощи скользящих средних получить плавную кривую нормы прироста дерева почти не удастся. Многолетние скользящие средние лишь несколько выравнивают фактический прирост. Поэтому для получения плавной кривой нормы прироста дерева иногда шаг сглаживания должен быть не менее 100 лет¹. Кроме того, в результате применения данного метода для каждого дерева получается «норма прироста».

Для устранения отмеченных недостатков Г. Комин для совокупности деревьев одной породы, произрастающих в одном типе леса, но различающихся по возрасту, вычислил годичный прирост не по календарным годам, а по возрастным группам годичных колец. Полученные возрастные годичные средние приросты наносились на график и выравнивались. Значения выравненной кривой принимались за норму прироста деревьев в зависимости от возраста.

Для деревьев разных пород (сосна, ель и т. д.) одного возраста, произрастающих в различных условиях, норма прироста будет, конечно, неодинакова. Г. Комин индексы годичного прироста вычисляет отдельно для каждого дерева как отношение фактического прироста к вычисленной норме того возраста, к которому относится данное годичное кольцо, выражая его в процентах. Но размеры индексов годичного прироста обусловлены, как справедливо он отмечает, не только колебаниями природной обстановки, но и

¹ Автор уже отмечал, что в северных и восточных районах СССР использование скользящих средних не всегда оправдывает себя.

проявлением наследственных качеств и положением дерева в древостое. Поэтому получить годные для сопоставления данные можно лишь найдя средние значения индексов годичного прироста множества деревьев. Только таким путем можно надежно выявить климатические факторы.

С. Шиятов по материалам раскопок древнего сибирского города Мангазеи определил, что в местах, расположенных за Полярным Кругом, «кривая большого роста» (возрастная кривая) обычно слабо выражена, вследствие чего средняя норма прироста имеет волнообразный вид [9]. Исследователю было трудно дифференцировать материал из однородные группы, так как неизвестны условия, в которых произрастали деревья, а во многих случаях и положение срезов по высоте стволов.

Изучение большого числа деревьев из этого района позволило С. Шиятову сделать вывод о том, что здесь возрастные тенденции изменения темпов прироста лучше отражают не кривые прироста «средней нормы», а кривые максимально возможного прироста. Другими словами, кривая большого роста проявляется в максимальных приростах отдельных лет. Даже в периоды длительных (вековых) ухудшений климатических условий имеются кратковременные периоды и отдельные годы, благоприятные для роста деревьев, в которые прирост достигает максимально возможной в данных условиях величины. Поэтому при расчете индексов годичного прироста предлагается высчитывать кривую не среднего, а максимально возможного прироста. В этом случае индексы будут колебаться от 0 до 100% [9].

При построении графика изменений ширины годичных колец надо обращать внимание на исключительно широкие кольца, являющиеся результатом развития креновой и раневой древесины, и при вычислениях не ориентироваться на них. Индексы годичного прироста вычисляются путем деления фактической ширины годичного слоя на максимально возможную ширину прироста за каждый год. Средние значения индексов для любого количества образцов можно получить обычным усреднением.

Дендрохронологический анализ стланиковых древесных растений (кедровый стланик, горная сосна, сибирский можжевельник и др.), растущих главным образом у верхнего и арктического пределов древесной растительности, имеет некоторые особенности. Так, В. Колишук [5, 6] изучил годичный ход роста горной сосны и разработал оригинальную методику получения дендрохронологических данных, пригодную для исследования и других стланиковых пород.

У старой горной сосны прирост по диаметру наблюдается не по всей длине ствола, а лишь в привершинной части скелетной оси дерева. По мере роста скелетной оси в длину и влияния придаточных корней на прирост зона оптимального прироста оси в толщину перемещается вверх. На расстоянии 1,5—2 м от комля годовичные кольца в периферийной части среза становятся настолько тонкими, что их измерение практически невозможно. Последовательное наложение кривых ширины годовичных колец отдельных срезов (от вершины до комля) с учетом закономерности хода прироста позволяет провести полное сопоставление годовичных слоев отдельных срезов и, следовательно, включить в исследование участки отмершей, но еще не сгнившей части скелетной оси.

Сравнение кривых роста разных скелетных осей одного куста или куртины сосен показало, что даже при значительном отличии в ходе роста по длине кривые роста по диаметру имеют согласованный ход. Это позволило перейти к сравнению хода кривых роста ширины годовичных колец скелетных осей разных кустов. Для сравнения этих данных был использован метод трехлетних скользящих [10], вычисленных по формуле $\frac{b(a+2b+c)}{4}$, примененной Э. Шульманом.

Предложенная В. Колищуком методика, видимо, может быть использована и при изучении годовичного прироста некоторых пород деревьев, росших на болотах.

Описанные выше методики исключения фактора возраста и учета климатических и прочих факторов имеют свои положительные стороны и недостатки. Несомненно лишь то, что будущее за теми методами, при работе с которыми могут быть использованы быстродействующие электронно-вычислительные машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Битвинскас Т. Т. К вопросу о применении дендроклиматических методов в лесном хозяйстве. «Доклады ТСХА». Вып. 115. Агрохимия, физиология растений, почвоведение. Ч. II. М., 1965.
2. Битвинскас Т. Т. Динамика прироста сосновых насаждений Литовской ССР и возможности его прогноза. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. с.-х. наук. М., 1966.
3. Гортинский Г. Б. Опыт анализа погодичной динамики продуктивности еловых древостоев в биогеоценозах южной тайги. Экспериментальное изучение биогеоценозов тайги. Л., 1969.
4. Звиедрис А. И., Матузанис Я. К. Применение данных о колебании ширины годовичных слоев деревьев в лесном хозяйстве Латвийской ССР. «Материалы Всесоюзного совещания по вопросам дендрохронологии и дендроклиматологии (7—8 июня 1968 г.)». Вильнюс, 1968.

5. Колищук В. Г. Динамика прироста горной сосны (*Pinus mughus* Scop.) в связи с солнечной активностью. «Доклады АН СССР», 1966, 167, № 3.
6. Колищук В. Г., Берко И. М. Рост видов сосны в зависимости от изменений климата в Украинских Карпатах. «Украинский ботанический журнал». Т. XXIV, № 2, 1967.
7. Комин Г. Е. К методике дендроклиматологических исследований. «Труды Института экологии растений и животных». Вып. 67. Свердловск, 1970.
8. Рудаков В. Е. Метод изучения влияния колебаний климата на толщину годовичных колец. «Доклады АН Армянской ССР», 1951.
9. Шиятов С. Г. К методике расчета индексов прироста деревьев. «Экология» (АН СССР), № 3, 1970.
10. Шепляк Х. Изменения климата, 1958.
11. Aarstad, S. Die Jahresringbreiten der Kiefer und die Zeitbestimmung älterer Gebäude in Solør im östlichen Norwegen. (Nytt. magasin f. naturvidensk.) Oslo, Bd. 78, 1938.
12. Clock W. S. Principles and Methods of Tree-Ring Analysis. Washington, 1937.
13. Douglass E. E. Climatic Cycles and Tree-Growth. V. I—III. Washington, 1919, 1928, 1936.
14. Eidem P. Über Schwankungen Dickenwachstum der Fichte. "Nytt. Magazin Naturvid", Oslo, Nr. 83, 1943.
15. Eklund B. The Annual Ring Variations in Spruce. "Med. Fran. statens Skogsforskningsinstitut". Stockholm, 1957, XLVII, № 1.
16. Erlandsson S. Dendro-chronological studies. Data 23. „Geokronol. Inst". Stockholm, 1936.
17. Fritts H. S., Mosimann J. E., Bortorff Sh. P. A Revised Computer Program for Standardizing Tree-Ring Series. "Tree-Ring Bulletin", V. 29, № 1—2, march 1969.
18. Huber B. und Holdheide W. Jahrringchronologische Untersuchungen an Hölzern der Bronzezeiten. «Bellschaft», Berlin, №5, 1942.
19. Näsälund M. Den gamla norrländska granskogens reaktionförmåga efter genomhugning. "Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst.", 1942.
20. Örding Å. Arringanalyser på gran og furu. "Medd. fr. Det. Norske Skogvesen", 25, 2, Oslo.
21. Pokorny A. Eine Methode um den meteorologischen Coefficienten des jährlichen Holzzuwachses der Dicotyledonenstämme zu ermitteln. "Bot. Zeitung", № 44, 1869.
22. Ruden T. A Valuation of the Method employed in Dendro-chronology and Annual Ring Analyses. "Meddelelser fra Det Norske Skogforsksvesen". № 32, Bd. IX, H 2.